

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní



Bakalářská práce

2013

Jiří Černohous

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra vozidel a motorů



Obor: B2341 – Strojírenství

Zaměření: 2301R022 – Dopravní stroje a zařízení

KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ DVOUMÍSTNÉ TERÉNNÍ BUGINY PRO SPORTOVNÍ VYUŽITÍ

DESIGN SOLUTION OF A TWO-SEATED BUGGY FOR SPORT UTILIZATION

Bakalářská práce

KVM – BP – 296

Jiří Černohous

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Dr. Ing. Elias Tomeh

Konzultant bakalářské práce:

Ing. Martin Bukvic

Počet stran : 63

Počet obrázku: 49

Počet příloh: 05

Počet výkresů: 02

Červen 2013

ZADÁNÍ

KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ DVOUMÍSTNÉ TERÉNNÍ BUGINY PRO SPORTOVNÍ VYUŽITÍ

Anotace

Předložená bakalářská práce se zabývá průzkumem trhu s dvoumístnými buginami, vlastním konstrukčním návrhem buginy doplněným o pevnostní analýzy.

DESIGN SOLUTION OF A TWO-SEATED BUGGY FOR SPORT UTILIZATION

Annotation

This bachelor dissertation deals with market research with a two-seated buggy, own design solution completed with strength analysis.

Prohlášení k využívání výsledků bakalářské práce

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

V Praze dne 24.6.2013

.....

podpis

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce panu doc. Dr. Ing. Eliasi Tomehovi a konzultantovi Ing. Martinu Bukvicovi za jejich vstřícnost a cenné rady, které jsem tak mohl využít při psaní této bakalářské práce.

Rád bych také poděkoval své přítelkyni, která mi byla během studia na vysoké škole velkou oporou.

Obsah

Anotace	4
Prohlášení k využívání výsledků bakalářské práce	5
Poděkování	6
Obsah	7
Přehled použitých veličin a jednotek	9
Úvod.....	10
1 Analýza současné situace na trhu terénních sportovních bugin	11
1.1 <i>Český trh terénních sportovních bugin.....</i>	11
1.1.1 Metalex	11
1.1.2 Škoda Auto	14
1.1.3 Auto Aťas.....	18
1.1.4 Autodílna Procházka.....	20
1.2 <i>Zahraniční trh terénních sportovních bugin.....</i>	21
2 Návrh dvoumístné buginy.....	24
2.1 <i>Konstrukční návrh buginy.....</i>	24
2.1.1 Konceptní návrh.....	24
2.1.2 Zástavbová analýza	24
2.1.3 Výběr vhodného vozu pro konstrukci buginy	26
2.2 <i>Rozbor vozu Škoda 120.....</i>	27
2.2.1 Seznámení s vozem Škoda 120	27
2.2.2 Základní technické parametry	28
2.2.3 Podvozek	28
2.2.4 Odpružení a tlumení	32
2.2.5 Řízení	33
2.2.6 Brzdový systém	34
2.2.7 Pohonná jednotka	34
2.3 <i>Vymodelování rámu buginy v 3D softwaru.....</i>	34

2.3.1	Základní technické údaje buginy.....	35
2.3.2	Detailní pohledy připojitelných rozhraní	37
3	Pevnostní analýza rámu	40
3.1	<i>Vytvoření konstrukčního návrhu zástavby rámu pro výpočtové analýzy.....</i>	<i>40</i>
3.2	<i>Příprava dat pro simulaci.....</i>	<i>41</i>
3.3	<i>Výpočet statického namáhání rámu</i>	<i>44</i>
3.3.1	Vertikální namáhání na ohyb	44
3.3.2	Určení těžiště celé buginy.....	46
3.3.3	Namáhání na krut	47
3.4	<i>Výpočet dynamického namáhání rámu.....</i>	<i>50</i>
3.4.1	Vertikální namáhání na ohyb	50
3.4.2	Namáhání na krut	52
3.5	<i>Výpočet vlastní frekvence rámu</i>	<i>54</i>
4	Optimalizace rámu.....	55
Závěr	57
Seznam obrázků a tabulek	58
Seznam příloh	60
Literatura	61

Přehled použitých veličin a jednotek

Veličina		Jednotka	
Název	Značka	Název	Značka
délka	l	metr	m
rychlost	v	kilometr za hodinu	km/h
hmotnost	m	kilogram	kg
hustota	ρ	kilogram na metr krychlový	kg/m ³
objem	V	metr krychlový	m ³
mechanické napětí	R_{p02}, R_m, E	pascal	Pa
rovinný úhel	α	stupeň	°
síla	F	newton	N
obsah plochy	A	metr čtverečný	m ²
tíhové zrychlení	g	metr za sekundu na druhou	m/s ²
krouticí moment	T_k	newton metr	Nm
výkon	P	watt	W
frekvence	f	hertz	Hz
plastický modul průřezu	W_{pl}	metr na třetí	m ³
kvadratický moment průřezu	I	metr na čtvrtou	m ⁴

Úvod

V bakalářské práci představím svůj koncept dvoumístné sportovní buginy. O tyto stroje se zajímám od svých 14 let právě od doby, kdy se jimi začal zabývat můj strýc. Po pouhém obdivování jsem zatoužil po vlastní bugině a po krátkém čase mi strýc pomohl sestrojít rám a kapotáž, které jsem si posléze už sám zkompletoval do finální podoby. Byla to hlavně touha po zdokonalování, která mě vedla v této zálibě pokračovat a rozšiřovat tak své znalosti a zkušenosti. Bugina prezentovaná v této práci je již v pořadí moje třetí. Nemá potřebné homologace a osvědčení splňující provoz na pozemních komunikacích, proto je určena pouze do terénu či na uzavřené okruhy. Hlavní realizace sportovní buginy byla provedena v letech 2006 až 2008 za použití nemalých finančních prostředků, stála hodně volného času a v neposlední řadě i obrovského odhodlání a úsilí. Jelikož bych se do budoucna rád dále rozvíjel v oblasti výroby sportovních terénních bugin a některé výstupy z bakalářské práce bych rád využil pro další záměry, učinil jsem ochranná opatření a byla podaná žádost o průmyslový vzor.

Hlavním cílem bakalářské práce je navrhnout konstrukční řešení dvoumístné terénní buginy pro sportovní využití. Výstupem práce budou studijní, konstrukční a výpočtové práce. Tištěný originál bakalářské práce bude obsahovat též přílohy ve formě výkresové dokumentace, obrázky, fotografie, grafy, tabulky a zároveň k ní bude přiložena elektronická forma na CD nosiči. Pro vypracování bakalářské práce využiji metody komparace, dedukce a syntézy. Zdrojem informací pro vypracování bakalářské práce budou podklady firem sportovních bugin, odborná literatura z oblasti strojírenství, strojnické tabulky, dále také časopisy, on-line katalogy, internet a zároveň potřebné normy a legislativa.

První kapitola se bude zabývat současným stavem na trhu dvoumístných terénních bugin, které lze využít ke sportovním účelům. Budu identifikovat veškeré požadavky kladené na ně a zároveň popíšu jejich základní technické parametry. Porovnáím jejich řešení a zhodnotím jejich klady a zápory.

Druhá kapitola bude obsahovat zpracování konstrukčního návrhu prostorového rámu dvoumístné terénní buginy. Budu analyzovat jeho geometrii a vymodeluji ho v 3D CAD programu. Třetí kapitola bude zahrnovat výpočet prostorového rámu z hlediska jeho vlastní frekvence, statického a dynamického namáhání. Dále vytvořím konstrukční návrh zástavby rámu včetně výkresové dokumentace. V poslední kapitole optimalizuji prostorový rám na základě výpočtových analýz. Závěrem bakalářské práce zhodnotím její výstup a přínos.

1 Analýza současné situace na trhu terénních sportovních bugin

V této kapitole se budu zabývat problematikou terénních bugin a to z několika pohledů. Zaměřím se na jednotlivé regiony a jejich potenciál pro výrobu bugin, dále na nabídky jednotlivých firem a jejich produktů, které mají odlišné parametry a využití, a v neposlední řadě navrhu možná řešení pro zvýšení objemu výroby a prodeje. V první části se budu zabývat ryze výrobky české provenience, kde lze nalézt pouze několik výrobců. Některé firmy s výrobou skončily ještě dříve, než se dostaly do prodeje, a zbyly po nich jen prototypy. V další části se budu již zabývat zahraničním trhem, který je v mnohých ohledech pokrokový a nabízí nejrůznější typy výrobků nebo jejich součástí.

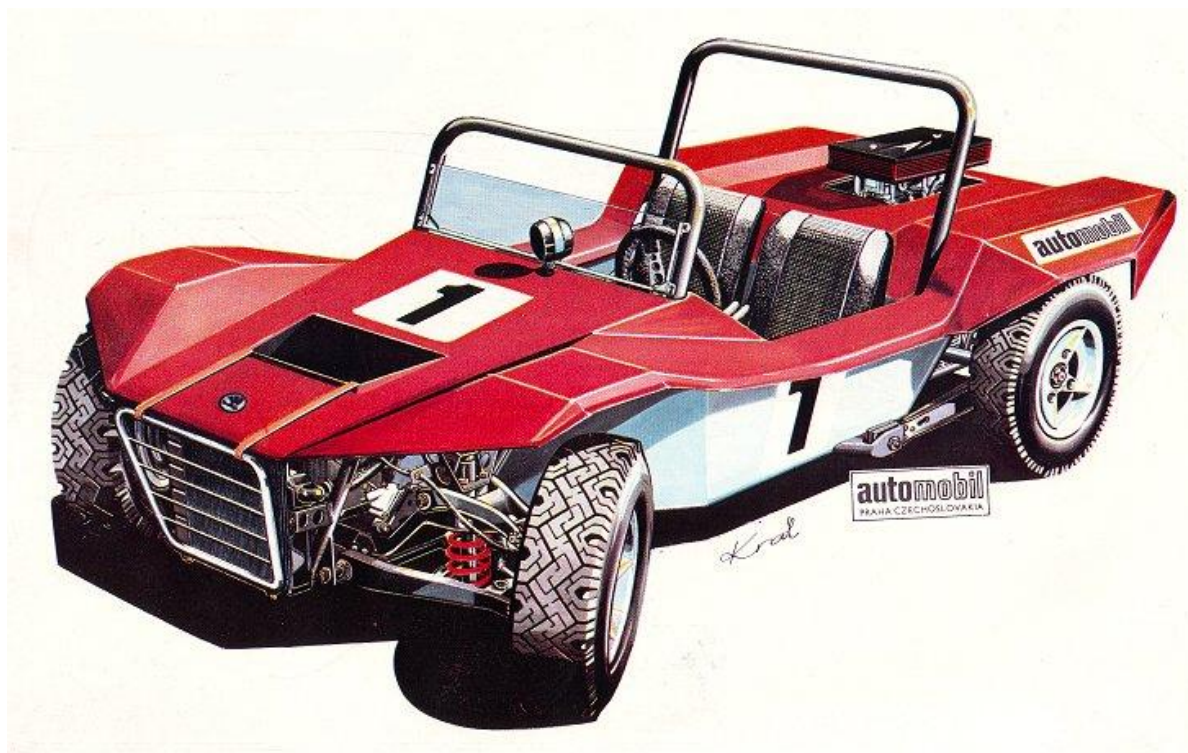
1.1 Český trh terénních sportovních bugin

Domácí trh s terénními sportovními buginami lze považovat za poměrně nevyvinutý. Existuje jen malá produkce a převažuje zde dovoz ze zahraničí. Touto úzce specializovanou výrobou se zabývá pouze několik firem. Domnívám se, že je to způsobeno převážně malým trhem a nízkou poptávkou po sportovních buginách kvůli jejich nevelkému využití. Navíc dovezené buginy jsou často levnější než tuzemské a mají tu nespornou výhodu, že jsou schválené pro provoz na pozemních komunikacích. Právě na to by se měli zaměřit čeští výrobci, aby zvýšili svůj zájem o své výrobky. Reálně v České republice existují čtyři společnosti terénních sportovních bugin, které jsou i se svými produkty níže uvedeny.

1.1.1 Metalex

Firma Metalex (MTX) se zabývá více než 40 let individuální úpravou aut a jejich renovací. Má dlouholeté zkušenosti nejen s vývojem a výrobou závodních speciálů, ale i mnoha desítek různých verzí sportovních a užitkových vozů. Zákazníci mají požadavky na různé využití vozů, a proto vždy vychází z konkrétních provozních podmínek. Je třeba posoudit rozsah úpravy a zvážit i potřebné legislativní kroky, aby využívání vozidla bylo bezproblémové a bezpečné. Společnost MTX zaručuje, že speciální vozidlo bude plnit veškeré legislativní požadavky na provoz, což znamená, že zajišťuje schvalování vozidel od svého zřízení. Prostřednictvím nejrůznějších kontaktů je schopna tyto služby nabízet nejen v čase, ale i cenách, dostupných pro všechny uživatele.

V 70. letech v plzeňských dílnách firmy Metalex začal souběžně s výrobou formulových vozů i vývoj vozů buggy obr. 1, jejichž tvůrcem byl designér Václav Král. Kvůli přetížení výrobních kapacit provozu se však žádný z prototypů nedočkal sériové výroby a vyrobilo se pouze pár kusů. V tabulce č. 1 můžeme vidět základní parametry vozu. V současné době můžeme jednu jejich repliku této terénní buginy vidět u firmy Auto Aťas. [1]



Obr. 1 MTX Škoda Buggy [2]

Tabulka č. 1: Technické informace MTX Škoda Buggy

Název	MTX Škoda Buggy
Motor	řadový čtyřválec s rozvodem OHV objem 988 cm ³ výkon 44 kW
Převodovka	Čtyřstupňová - poháněná zadní náprava
Podvozek	použity mechanické skupiny Škoda 100
Karosérie	prostorový samonosný trubkový rám laminátová karosérie
Celkové rozměry	rozvor 2000 mm rozchod 1340/1352 mm vnější rozměry 3070×1550×1180 mm
Hmotnost	505 kg

Zdroj [2]

Hodnocení:

Buggy vyrobená v roce 1970 působí sportovním dojmem a to i v dnešní době. Na výrobu byla použita podvozková skupina ze Škody 100, která tak měla zaručovat jednoduchost a rozumnou cenu. Rovněž si zachovala stejnou koncepci pohonu jako Škoda 100, tj. motor vzadu za převodovkou a pohon zadních kol. Kombinovala trubkový rám ve spojení s vyladěným motorem určeným pro soutěžní vozy skupiny A2 a jednoduchou funkční karoserií z laminátu, vytvořila tak jedinečný lehký stroj, který dosahoval maximální rychlosti cca 150 km/h. Velkou škodou ovšem bylo, že se jí nedostalo masovější produkce, poněvadž podle mého názoru byla ve své době unikátní a jistě by byl o ní zájem. I přesto je dnes k mání jak originál, tak i replika.

Klady: jednoduchá konstrukce

nízká hmotnost

dobře vyladěný motor

Zápory: není určena pro provoz na pozemních komunikacích

omezená produkce

1.1.2 Škoda Auto

Společnost Škoda, náš přední výrobce aut s dlouholetou tradicí, se k vozům buggy přiblížila v celé své historii pouze jedinkrát. V 70. letech se zabývala myšlenkou rozšířit své automobilové portfolio o vozidla určená pro volný čas. Generální zástupce vozů Škoda v Itálii – společnost Motorest – iniciovala stavbu prvního vozu. V roce 1972 byla ve spolupráci s italskou firmou Autozodiaco sestavena pod názvem Škoda Autozodiaco Kirby Dune Buggy čtyřmístná, dvousedadlová bugina na nezkráceném podvozku Škody 100, obr. 2. V tabulce č. 2 můžeme vidět základní parametry vozu.

V článku v časopise Auto Revue z roku 1973 bylo o ní psáno jako o novince 54. turínského autosalónu, kde byla poprvé představena. Její motor, převodové ústrojí a podvozkové části vycházely z vozů Škoda, což bylo poprvé, kdy se tento typ vozidla skládal z továrně nových dílů. Počítalo se s produkcí zhruba 500 vozů ročně, přičemž mladoboleslavská automobilka měla dodat potřebná množství dílů a celků. Byla zde snaha vytvořit konkurenční stroj, jakým byl VW buggy s motorem 1200. Bohužel sériová výroba se nakonec neuskutečnila a údajně byly postaveny pouze dva vozy. Dodnes se dochoval pouze jediný exemplář, jehož majitelem je Tomáš Wollný z Opavska. [3]



Obr. 2 Škoda Kirby [4]

Tabulka č. 2: Technické informace Škoda Kirby

Název	Škoda Kirby
Motor	řadový čtyřválec s rozvodem OHV objem 988 cm ³ výkon 35 kW
Převodovka	Čtyřstupňová - poháněná zadní náprava
Podvozek	použity mechanické skupiny Škoda 100
Karosérie	prostorový samonosný trubkový rám laminátová karosérie
Celkové rozměry	rozvor 2400 mm rozchod 1280/1250 mm vnější rozměry 3630×1660×Neuvedeno
Hmotnost	560 kg

Zdroj: [4]

Hodnocení:

Buggy vyrobená v roce 1972 byla určena pro sportovní využití nejen na silnice, ale i mimo ně. Ačkoliv jsem se měl zabývat výhradně dvoumístnými verzemi, tato buggy mi přišla natolik zajímavá, že ji zde uvádím. Na výrobu byla opět použita podvozková skupina ze Škody 100, která tak měla zaručovat jednoduchost a rozumnou cenu. Rovněž si zachovala stejnou koncepci pohonu jako Škoda 100, tj. motor vzadu za převodovkou a pohon zadních kol. Měla se stát konkurenceschopným strojem, jakým by byl VW buggy. Těžko říci, co stálo za ukončením její produkce, poněvadž vozy VW buggy byly a jsou velice oblíbené a staly se jakýmsi symbolem svobody. Pevně věřím, že by si své zájemce jistě našla a vyrobila by se i v dalších karosářských modifikacích.

Klady: jednoduchá konstrukce

obdobný design jako VW buggy

Čtyřmístná

Určena na pozemní komunikace

Zápory: zasloužila by výkonnější motor

existuje pouze jediný exemplář

Podobná čtyřmístná škoda Buggy S736 byla vyrobena také v roce 1972 v Belgii firmou Françoise Vernimmen v Namuru, na obr. 3. v tabulce č. 3 pak můžeme vidět její základní parametry. Měla laminátovou karosérii a snímací látkovou střechu. Vyrobito se jí nakonec více než Škody Kirby. Bylo jich prodáno zhruba 53 vozů a doposud je lze potkat v Belgii. [5]



Obr. 3 Škoda buggy S736 [6]

Tabulka č. 3: Technické informace Škoda buggy 736

Název	Škoda 736
Motor	řadový čtyřválec s rozvodem OHV objem 1104 cm ³ výkon 33 kW
Převodovka	Čtyřstupňová - poháněná zadní náprava
Podvozek	použity mechanické skupiny Škoda 100-110
Karosérie	prostorový samonosný trubkový rám laminátová karosérie
Celkové rozměry	rozvor 2000 mm rozchod 1280/1250 mm vnější rozměry 3320×1510×1530
Hmotnost	710 kg

Zdroj: [3]

Hodnocení:

Tato buggy je vyrobena na obdobném principu jako Škoda Kirby. Rovněž čtyřsedadlová, avšak jako jediná se dochovala ve větším počtu kusů. Je daleko těžší než předešlé buginy a v kombinaci s nepříliš výkonným motorem působí neohrabaně. Musím říct, že tato buggy mě nikterak neoslovila, ať už svými technickými parametry, tak po designové stránce.

Klady: čtyřsedadlová

určena na pozemní komunikace

lze si ji poměrně snadno pořídit

Zápory: daleko převyšující hmotnost než Škoda Kirby

nevzhledný design

nepříliš výkonný motor

1.1.3 Auto Aťas

Autoservis Auto Aťas, působící od roku 2001 na českém trhu v oblasti servisu se sídlem v pražské čtvrti Hlubočepy, se od roku 2005 rozhodl expandovat i do dalších sfér automobilového průmyslu ve spolupráci s konstruktérem panem Jiřím Navrátillem a jeho společností Navi s. r. o. Novou oblastí zájmů byly stavby a přestavby replik starých vozů a později i zkonstruování vlastního typu vozu Buggy Studio 33 viz obr. 4 [8]. V tabulce č. 4 můžeme vidět základní parametry vozu.



Obr. 4 Buggy Studio 33 [7]

Tabulka č. 4: Technické informace Buggy Studio 33

Název	Buggy Studio 33
Motor	řadový čtyřválec s rozvodem OHV objem 1397 cm ³ výkon 50 kW
Převodovka	pětistupňová - poháněná zadní náprava
Podvozek	použity mechanické skupiny Škoda 100-125
Karosérie	prostorový samonosný trubkový rám laminátová karosérie
Celkové rozměry	rozvor 1970 mm rozchod neuveden vnější rozměry neuvedeny
Hmotnost	560 kg

Zdroj: [7]

Hodnocení:

Tato bugina se mi jeví jako hodně povedená. Tvoří ji stejně jako u předešlých lehký trubkový rám a laminátová karoserie. Vzhledově připomíná MTX v buggy v moderním pojetí. Jako agregát zde posloužil motor z Fábie, který disponuje 50 kW. Tento výkon mi přijde jako optimální pro dlouhodobé používání buginy s tímto typem převodovky. Jediná věc, co se mi úplně nezamlouvá, je až příliš okapotovaná karoserie, která by se mohla v terénu poškodit. Bude schválena pro provoz na pozemních komunikacích, takže si myslím, že si své zájemce jistě najde.

Klady: povedený design

úctyhodný výkon

bude určena na pozemní komunikace

levné náhradní díly

Zápory: možná až příliš okapotovaná

1.1.4 Autodílna Procházka

Autodílna Procházka se soustředí zejména na specializované úpravy a přestavby vozů VW BROUK včetně úprav motorů a interiérů (včetně čalounění a lakování). Jejimi zákazníky jsou nejen tuzemští zájemci, ale i zahraniční z Rakouska, Německa, Nizozemí, Itálie a Slovenska. Firma byla založena v roce 1989 a od roku 1991 úzce spolupracuje s rakouským klubem VW Brouk, se kterým společně vytvořily VW BROUK KLUB Blansko.

Pro stavbu buginy autodílna většinou používá podvozek z Brouka, který se zkrátí o 365 mm. Karoserie se vyrábí ve dvou provedeních: laminát o tloušťce 6 mm nebo laminát o tloušťce 8,5 mm s jednou vrstvou kevlaru. Široké spektrum barevného provedení umožňuje si vytvořit vzhledově jedinečný originální vůz. Může být vybavena VW motory až do zhruba 150 PS. Motorové plechy autodílna nabízí chromované nebo lakované barvou a práškovou metodou; ochranný rám z leštěných nerezových trubek nebo ocelových lakovaných práškovou metodou. Výsledná bugina včetně rámu váží kolem 550 kg. Na obr. 5 můžeme spatřit buggy v jedné z mnoha úprav. Na základě povolení je možné přihlásit buginu na SPZ do běžného provozu.



Obr. 5 Bugina autodílny Procházka [8]

Po připojení originálního adaptéru k přední nápravě obr. 6, je možné buggy snadno převážet za osobním vozem [8].

Další informace týkající se této buginy uvádím v sekci Zahraniční trh.



Obr. 6 Detailní pohled na přípojný adaptér [8]

1.2 Zahraniční trh terénních sportovních bugin

Zahraniční trh je z hlediska nabízených produktů velice atraktivní, a tudíž je diametrálně odlišný od tuzemského. Nabízí takové možnosti, že i ten nejnáročnější zákazník si přijde opravdu na své.

Co se týče zahraničního trhu, zaměřím se především na Americký trh (přesněji řečeno na trh Latinské Ameriky a USA), protože jej považuji za dominantní. Tamní trh má dlouholetou tradici, datující se již k počátku 50. let. Vše začalo výrobou vozu Volkswagen Brouk v Německu a byla to právě Latinská Amerika a USA, které tvořily jedny z největších obchodních prodejů tohoto vozu a kam se také v pozdějších letech přesunula hlavní výroba [9]. VW Brouk byl navržen za účelem cenově dostupného vozu a tomu také odpovídala jeho velice jednoduchá, avšak důmyslná a odolná konstrukce. Hlavní prvek vozu tvořil samonosný podvozek, ke kterému byly postupně připevněny obě nápravy a motor s převodovkou. Velkou předností byl systém odpružení, kde bylo použito torzních tyčí, umístěných přímo v nápravách a motor chlazený vzduchem.

Tyto vozy začaly brzy brázdit kontinent v hojném počtu, netrvalo dlouho a zrodila se první Buggy na podvozku VW Brouk. Především díky jednoduché konstrukci se tak dočkaly velkého zájmu a mohly tak přežít až do dnešní doby. Na obr. 7 VW buggy v jedné z mnoha úprav. Během své dlouhé existence se vyráběla a neustále vyrábí v mnoha karosářských modifikacích a s motory o různém výkonu.



Obr. 7 VW buggy v jedné z mnoha úprav [10]

Na obr. 8 je další příklad buggy, kterou si sestrojil můj známý z Floridy, využívající opět dostupné komponenty z vozu VW Brouk. Hlavním nosným prvkem je zde avšak samonosný trubkový rám, na který se zavěšují další konstrukční celky. Existují zde ovšem i výrobci, kteří své buginy osazují jak motory ze silničních motorek, tak i velkoobjemovými vysoce výkonnými motory.



Obr. 8 terénní VW Buggy

Ve většině případů lze buginy koupit v různém stadiu zhotovení. Počínaje samotným svařeným, či nesvařeným rámem, přes různé cenově výhodné sety, které obsahují určitý výběr komponentů až po kompletně sestavené. Navíc je tu i hojně zastoupen trh s doplňkovým příslušenstvím a náhradními díly. Co je ovšem zajímavé, tak většina bugin díky tamní legislativě bez větších problémů dostane oprávnění k provozu užívání na pozemních komunikacích.

Tomuto trhu se stává velice konkurenceschopný čínský trh, který v posledních letech velice expandoval. Procento vlastních výrobků je zanedbatelné a prakticky vůbec nenabízí příslušenství a náhradní díly ke strojům. Zaměřuje se především na výrobu velkého množství strojů, ale kvalita je podstatně nižší. Nelegální kopírování se v Číně doznalo i na poli bugin, a proto veškeré vozy jsou velmi podobné těm z Ameriky. Kopírují se však buginy především s motory ze silničních motorek. Jelikož se klade důraz na velkosériovou výrobu, tomuto trhu se nedá ubránit.

2 Návrh dvoumístné buginy

V této kapitole se budu zabývat konstrukčním návrhem dvoumístné buginy, analyzovat geometrii vozu a následně vymodeluji rám v 3D CAD programu.

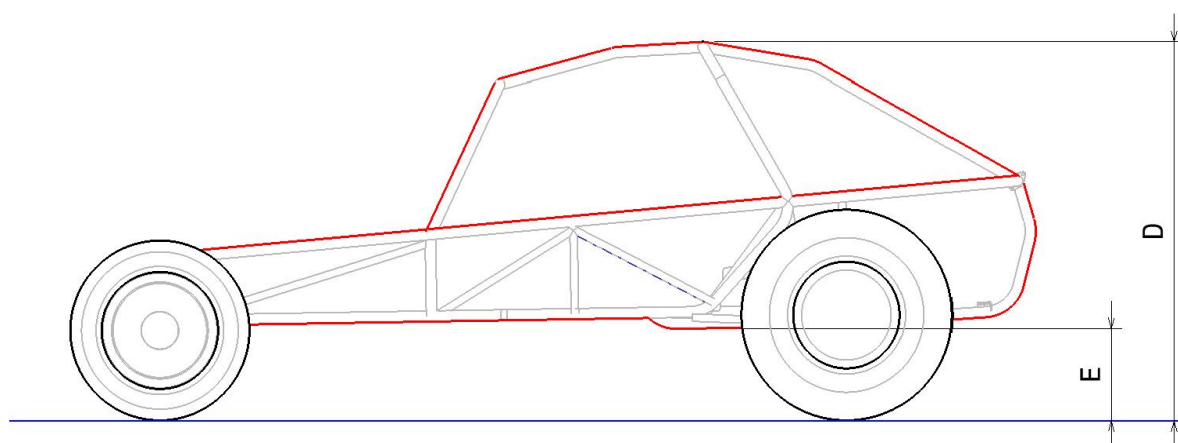
2.1 Konstrukční návrh buginy

2.1.1 Koncepční návrh

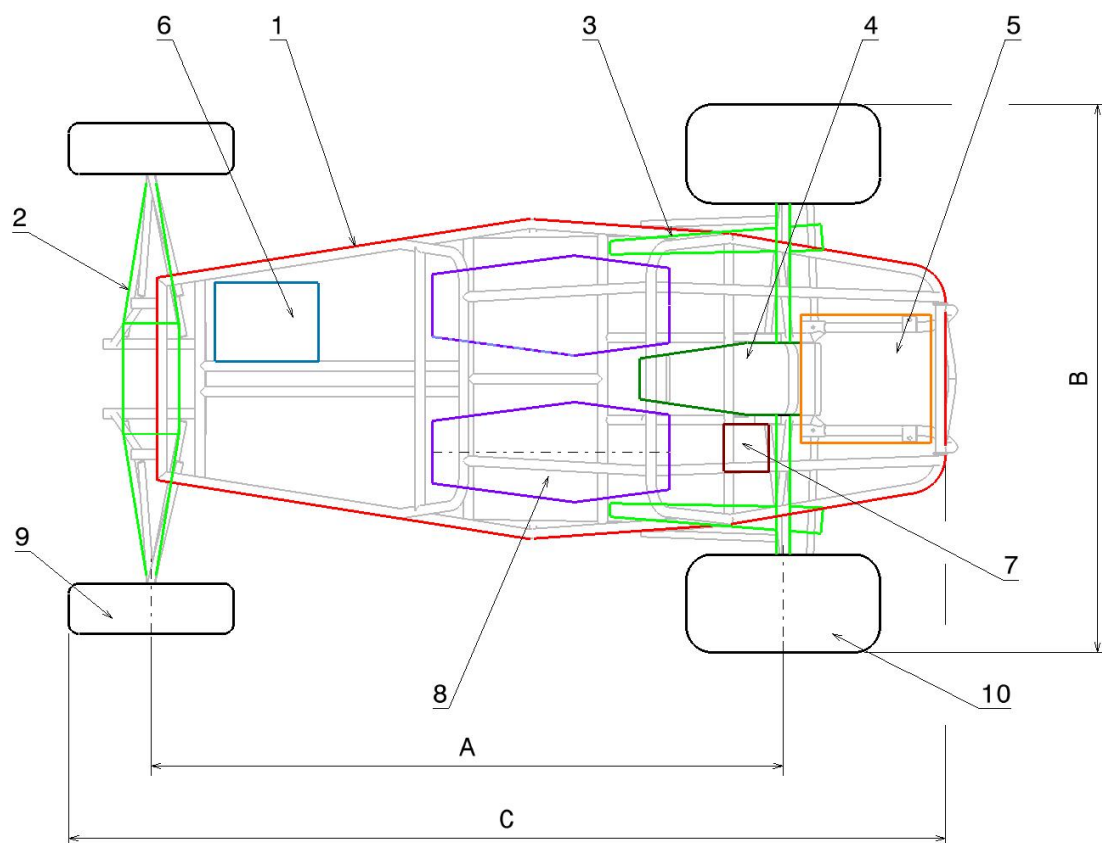
Mou ideou je sestrojít jedinečnou dvoumístnou buginu s neotřelým, originálním designem. Motor s převodovkou budou uloženy podélně vzadu a budou pohánět zadní nápravu. Požadavkem je nízká hmotnost, velká světlá výška pro dobrou prostupnost terénem, zároveň těžiště umístěné co nejnižší, aby byla zachována co největší stabilita v členitém terénu. Motor by měl podávat optimální výkon a krouticí moment v co nejnižších otáčkách a spolu s krátce zpřevodovanou převodovkou, aby tak zaručoval dobrý rozjezd při stoupání. Z tohoto důvodu upřednostňuji automobilové komponenty před komponenty z motocyklů.

2.1.2 Zástavbová analýza

Jak už jsem se v úvodu zmínil, inspiroval jsem americkými buginami, postavenými z vozů VW Brouk. Pro většinu rozměrů a rozmístění komponentů vycházím ze zkušeností získaných u předchozích sestrojených bugin. Na následujících obrázcích obr. 9 a obr. 10 uveřejním vizuální rozmístění nejdůležitějších dílů buginy, doplněných o základní rozměry.



Obr. 9 Předběžný návrh buginy - bokorys



Obr. 10 Předběžný návrh buginy - půdorys

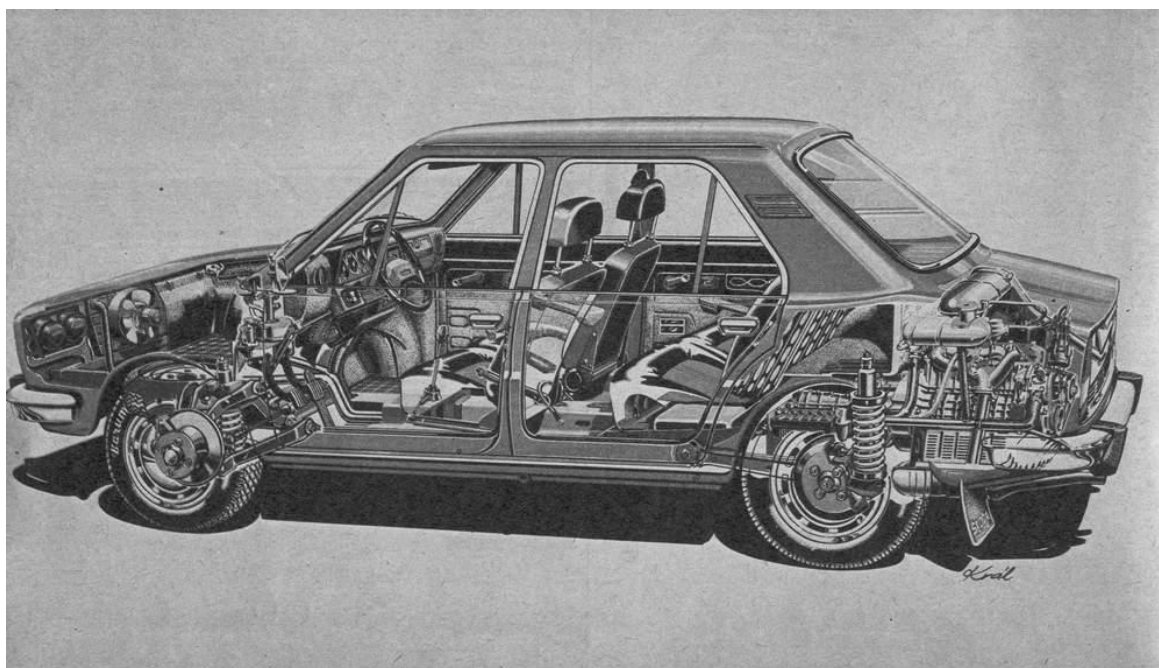
- 1- samonosný trubkový rám
- 2 - přední náprava
- 3 - zadní náprava
- 4 - převodovka podélně umístěná, pohon zadních kol
- 5 - motor umístěn vzadu za převodovkou
- 6 - palivová nádrž, objem cca 20 l
- 7 - autobaterie
- 8 - pozice pasažérů
- 9 - kolo přední nápravy, \varnothing 600 mm cca
- 10 - kolo zadní nápravy, \varnothing 700 mm cca
- A – rozvor 2 200 ~2 400 mm
- B - celková šířka cca 1 900 mm
- C – celková délka cca 3 500 mm
- D – celková výška 1 300 ~ 1 400 mm
- E – světlá výška minimálně 250 mm

2.1.3 Výběr vhodného vozu pro konstrukci buginy

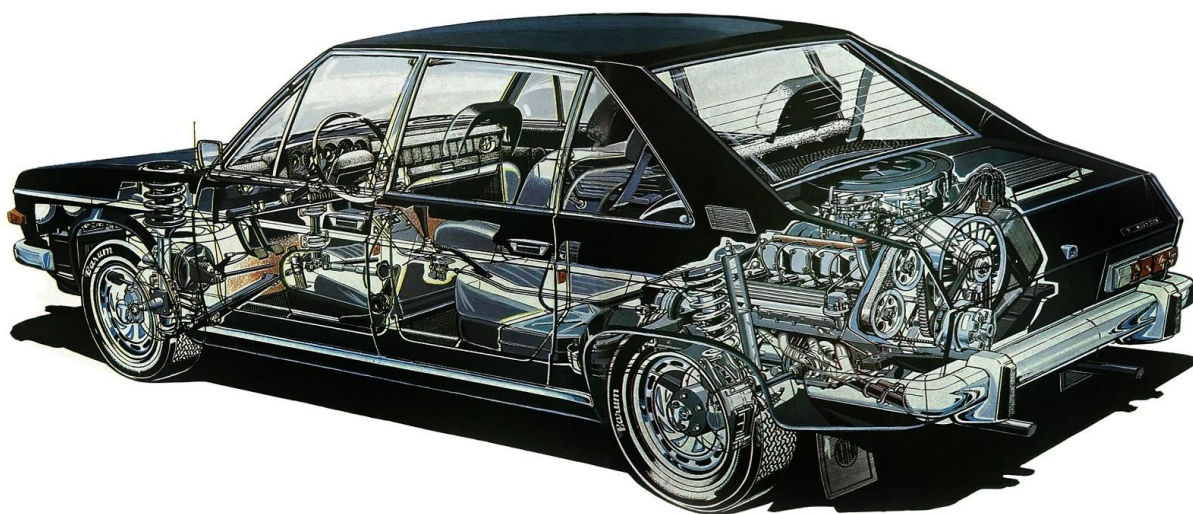
Pro účely stavby buginy jsem hledal vozidlo, které se nejvíce vyskytuje na tuzemském trhu a splňuje následující kritéria:

- Koncepce pohonu vozu, tj. uspořádání převodovky, motor
- Jednoduchá konstrukční řešení dílčích komponentů
- Pořizovací cena
- Cena náhradních dílů
- Dostupnost na trhu
- Dostačující výkon motoru

V úvahu přicházely pouze vozy Škoda z řad 100-130, obr. 11 a Tatra 613 obr. 12. Z výše uvedených kritérií pro mě, avšak hlavně kvůli omezeným finančním možnostem, vyšla nejlépe Škoda 120, kterou jsem měl možnost pořídit za výrazně nižší částku než Tatra 613. Proto pro sestavení buginy budou použity především komponenty ze Škody 120. Zejména použiji přední a zadní nápravu, motor s převodovkou, které v následujících bodech více přiblížím a případně zmíním jejich konstrukční úpravy.



Obr. 11 Průřez vozu Škoda 120 [11]



Obr. 12 Průřez vozu Tatra 613 [12]

2.2 Rozbor vozu Škoda 120

Předmětem zkoumání této práce je především samonosný trubkový rám, a proto se z tohoto důvodu nebudu detailněji zabývat geometrií daného vozu a pouze ji obecně popíšu. Podrobnější zkoumání samotné geometrie by tak mohlo být předmětem řešení jiné práce.

2.2.1 Seznámení s vozem Škoda 120

Škoda 120 spolu s dalšími verzemi, jako jsou 105, 125, 130 a 135, spadala pod modelovou řadu Škoda 742. Tyto vozy vznikaly v tehdejším Československu mezi lety 1976 – 1990 a celkem se jich vyrobilo přes 2 mil. kusů. Mnou zakoupený vůz patřil k modernizované verzi Škody 120, která byla vyrobena po roce 1983. Vyznačovala se především větším rozchodem kol, hřebenovým řízením a měla nové prvky v interiéru a exteriéru než řada Škoda 120 vyrobená před tímto rokem. [3]

2.2.2 Základní technické parametry

Tabulka č. 5: Základní technické informace vozu Škoda 120 od roku výroby 1983

Technické údaje	[mm]
Délka	4200
Šířka	1610
Výška	1400
Rozvor	2400
Rozchod vpředu	1390
Rozchod vzadu	1350

Zdroj: [3]

2.2.3 Podvozek

Rozlišujeme 2 druhy zavěšení kol a to:

- Závislé zavěšení kol – pouze u tuhé nápravy
- Nezávislé zavěšení kol - všechna ostatní zavěšení, která se vyskytují např. u lichoběžníkové, víceprvkové, McPherson, kyvadlové.

Pod pojmem „zavěšení kol“ se rozumí způsob připojení kol k rámu nebo karoserii vozidla. Zavěšení kola umožňuje svislý relativní pohyb kola vzhledem ke karoserii nebo rámu, potřebný z hlediska propružení a výhodou je, že eliminuje nežádoucí pohyby kola na přijatelnou hodnotu. Další funkcí zavěšení kola je, že přenáší síly a momenty mezi kolem a karoserii, to znamená svislé síly (zatížení vozidla), podélné síly (hnací a brzdné síly), příčné síly (odstředivé síly) a momenty podélných sil (hnací a brzdný moment). [13]

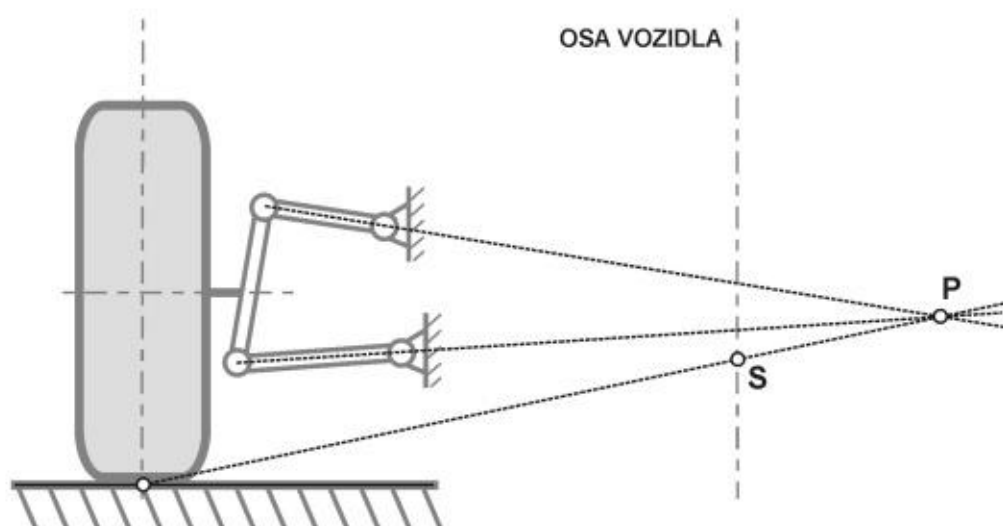
Škoda 120 využívá na obou nápravách nezávislého typu zavěšení kol:

- Lichoběžníková náprava vpředu
- Kyvadlová úhlová náprava vzadu

Lichoběžníková náprava

Lichoběžníkové zavěšení se provádí pomocí dvou nestejně dlouhých příčných ramen s tím, že horní rameno je kratší. Kola jsou zavěšena díky těmto ramenům k nápravnici, rámu, případně skříni rozvodovky, obr. 13. Vhodnou volbou vzájemného poměru délek obou ramen lze dospět k velmi pozitivní kinematice. Lichoběžníková náprava se využívá jako řídící a zároveň i jako hnací.

Lichoběžníkovou nápravu tvoří horní a dolní trojúhelníkové rameno. Tato ramena formují lichoběžník v průmětu do příčné svislé roviny, odtud pochází název této nápravy. Kolo je pak uloženo na čepu, který spojuje oba konce ramen.



Obr. 13 Kinematické schéma lichoběžníkové nápravy [14]

Při propružení lichoběžníkové nápravy často dochází ke změně odklonu kola, sbíhavosti kol i změně rozchodu kol. Všechny tyto změny mají negativní vliv na jízdní vlastnosti automobilu, avšak vhodnou volbou geometrie ramen lze toto nepříznivé působení minimalizovat. Kupříkladu pokud leží okamžitý střed klopení kola P daleko od kola, vznikají pak při propružení jen nepatrné změny odklonu a rozchodu kol, což je dobré pro jízdní vlastnosti. Pro malé vychýlení se pohyb kola stanoví opsáním kružnice z bodu P do stopy kola. Bod S je pak střed klopení karoserie.

Zvláštní případ rovnoběžných ramen je definován jako střed klopení kola P v nekonečnu a střed klopení karoserie S leží na vozovce. Při malých propruženích kola se odklon v podstatě nemění a rozchod kol jen mírně. Nicméně to platí jen pro stejně dlouhá ramena.

Na Obr. 14 je zobrazena přední náprava vozu Š 120. Pro zachycení sil působících ve stopě vozidla se využívají trojúhelníková ramena, která jsou umístěna v pryžových pouzdrech. Spodní rameno je zatěžováno více, proto je vyrobeno jako robustnější konstrukce. Předností lichoběžníkové nápravy se vyznačuje možností velmi nízké stavby v porovnání s nápravou McPherson nebo s tuhou nápravou. Bohužel její konstrukce je mnohem dražší, a tím pádem se

používá nejčastěji na předních nápravách vozů vyšších tříd. Náprava garantuje dobré jízdní vlastnosti.



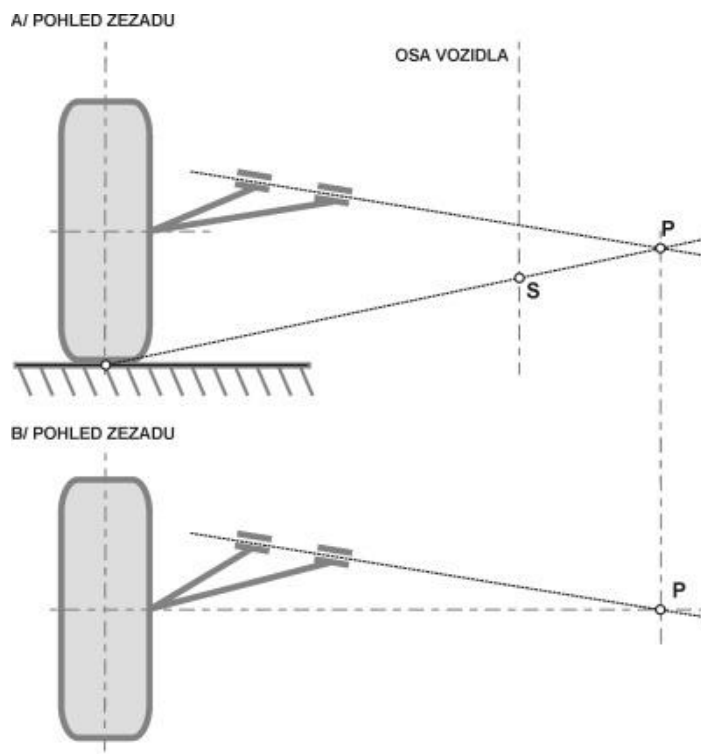
Obr. 14 Pohled na přední nápravu vozu Škoda 120 [15]

Z důvodu lepšího prostupu terénem jsem odstranil dorazy spodních ramen a příčný stabilizátor. Absence příčného stabilizátoru sice vyvoluje větší naklápění karoserie při průjezdu zatáčkou, avšak tato úprava zároveň umožní větší výkyvy mezi levým a pravým kolem.

Kyvadlová náprava

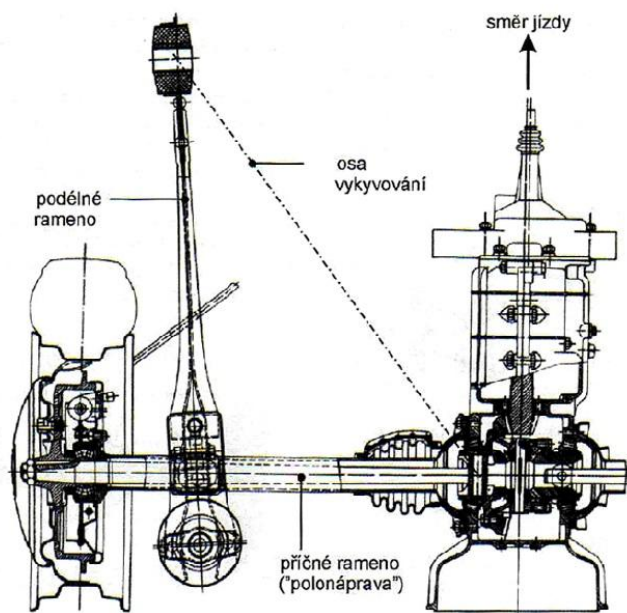
Kyvadlová (úhlová) náprava se používá výhradně jako náprava zadní. Osa kývání ramen je v půdorysu šikmá, a proto se používá označení šikmo vlečená či úhlová náprava. Kyvadlová náprava má šikmou osu kývání obou ramen, obr. 15. Kolo je uchyceno pomocí rozvidleného ramene, které je uchyceno prostřednictvím pryžových bloků do nápravnice nebo karoserie.

Náprava této konstrukce se používá jako zadní hnací či hnaná, avšak nelze ji použít jako nápravu řídící. Vhodnou volbou úhlů kývání lze korigovat jízdní vlastnosti vozu. Při propružení kyvadlové nápravy dochází ke změně odklonu a rozchodu, a proto musí být u poháněných náprav zajištěno vyrovnávání délky hnací hřídele. [14]



Obr. 15 Kinematické schéma kyvadlové nápravy [14]

Konstrukci tohoto typu nezávislého zavěšení kol využívaly mimo jiné i vozy Škoda 1000 MB a 100, obr. 16. Zmíněné modely se však vyznačovaly svou přetáčivostí způsobenou především díky výrazné změně rozchodu i odklonu kol.



Obr. 16 Řez zadní nápravou vozu Škoda 120 [14]

2.2.4 Odpružení a tlumení

Odpružení

Prostřednictvím odpružení se zmenšuje přenos kmitavých pohybů náprav vozidla na jeho podvozkové části a karoserii. Tím je tak chráněna posádka, popř. přepravovaný náklad, před nežádoucími otřesy. Odpružení také prodlužuje životnost některých dílů podvozku. Zajišťuje stálý kontakt pneumatiky s vozovkou a tím umožňuje přenos obvodových sil (hnacích a brzdících). U řídících kol by ztráta styku pneumatiky s vozovkou znamenala nepříznivý vliv na říditelnost vozidla. Použití vinutých pružin je spíše typické pro osobní automobily, avšak lze jich spatřit i u lehkých nákladních automobilů. [13]

Škoda 120 má na obou nápravách vinuté pružiny, obr. 17. Mezi hlavní výhody patří především malá hmotnost, bezúdržbovost, jednoduché uložení (tzn. nevyžadující klouby), žádné suché tření. Nevýhodou vinutých pružin je absence vlastního tlumení a nejsou uzpůsobeny vést nápravu. Vzhledem k jinému poměru zatížení přední a zadní nápravy u buginy a Škody 120, byly původní pružiny na přední nápravě nepříliš vyhovující a experimentálním zkoušením se postupem času vyměnily za pružiny o menším průměru drátu a kratší celkové délce.



© Vapol

Obr. 17 Zadní vinutá pružina vozu Škoda 120 [16]

Tlumení

Tlumiče v pružící soustavě motorového vozidla mají plnit následující úlohy:

- Zajištění vysoké bezpečnosti jízdy
- Zvýšení jízdního pohodlí

Hlavním úkolem vozidlového tlumiče je tlumit nárazy, vznikající od nerovností vozovky a ty následně nepřenášet na karoserii. Díky tomu se tak zlepší jízdní pohodlí pro cestující. Zároveň je žádoucí udržovat kmitání neodpružených částí v co nejmenší možné míře. Pouze tím se dosáhne lepšího styku kol s vozovkou, který je nezbytný k zajištění vysoké jízdní bezpečnosti, tzn. přenosu brzdných a hnacích sil, přenosu bočních sil při zatáčení. V současnosti se používají výhradně teleskopické tlumiče, které se svou vnitřní architekturou dělí na dvouplášťové a jednoplášťové.

Škoda 120 je osazena na obou nápravách dvouplášťovými tlumiči, obr. 18. Jejich hlavní výhodou jsou nižší výrobní náklady, avšak díky své konstrukci, hůře odvádí teplo, dochází k pění oleje a mohou pracovat max. 45° od svisle osy. [13]



***Obr. 18** Zadní tlumič pérování vozu Škoda 120 [17]*

2.2.5 Řízení

Přední náprava vozu Škoda 120 je osazena hřebenovým řízením, obr. 19. Je to přímé řízení, ovládané jen silou řidiče, tj. bez použití posilovače. Oproti dřívějšímu maticovému typu řízení, má hřebenové větší převodový poměr, což má sice za následek většího počtu otočení volantů mezi krajními polohami levého a pravého rejdu, ale za to řidič použije menší síly.

Původní řešení geometrie uchycení volantové řídicí tyče k hřebenovému řízení nebylo vyhovující, a proto jsem upravil držáky hřebenového řízení na nápravě tak, aby splňovaly požadavky pro správnou funkci.



Obr. 19 Hřebenové řízení Škoda 120 [18]

2.2.6 Brzdový systém

Brzdový systém je dvouokruhový a v případě Škody 120 je napojen první okruh na přední nápravu a druhý na nápravu zadní. Soustava je doplněna posilovačem brzdného účinku. O brzdění se na přední nápravě stará dvojice brzdových kotoučů společně s dvoupístkovými třmeny. Na zadní nápravě jsou bubnové brzdy, které mají sice menší brzdný účinek než kotoučové, za to mechanismus ruční brzdy je zde snáze řešitelný, a tudíž je to ekonomicky výhodnější.

Takto navržený brzdový systém se v bugině díky rozdílným hmotnostem a jízdním vlastnostem nepříliš osvědčil, a proto dostal několik konstrukčních změn.

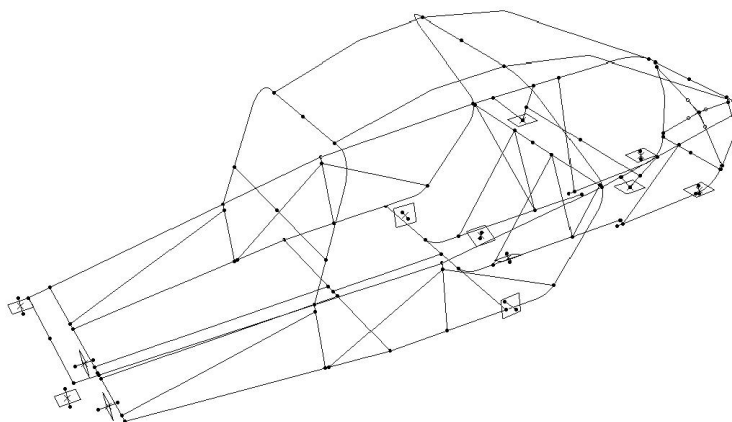
2.2.7 Pohonná jednotka

Škoda 120 má poháněnou zadní nápravu. Motor s převodovkou je podélně uložen, při čemž motor je za zadní nápravou. O chod vozu se stará benzínový čtyřválcový motor, vodou chlazený s obsahem 1 147 cm³. Disponuje největším výkonem 40,5 kW při 5 200 otáčkách/min. a největším točivým momentem 82,5 Nm při 3 250 otáčkách/min. Přenos hnací síly na zadní nápravu zajišťuje čtyřstupňová manuální převodovka plně synchronizovaná, s přímým řazením. [15]

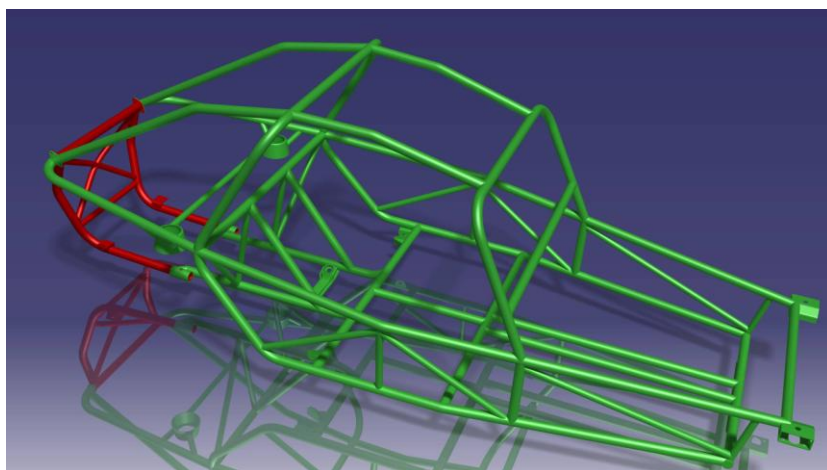
2.3 Vymodelování rámu buginy v 3D softwaru

Rám buginy jsem vymodeloval v konstrukčním programu Catia V5 R19, který se hojně používá v automobilovém průmyslu. Pro účely této práce jsem vytvořil dva modely rámu. Výpočtový model rámu, obr. 20, určený pro metody MKP pro 3 a 4. kapitulu bakalářské práce. Tento rám tvoří střednicové pruty a je na některých místech zjednodušen

tak, aby bylo dosaženo optimálních výsledků při výpočtech. Dále rám určený především pro zástavbu dílčích komponentů a reálnou vizualizaci, obr. 21.



Obr. 20 Výpočtový model rámu



Obr. 21 Realistický model rámu

2.3.1 Základní technické údaje buginy

V následující tabulce najdeme přehled základních rozměrů vozu, které jsou následně zobrazeny na obr. 22 a obr. 23.

Použité pneu: Přední náprava 165/70 R13

Zadní náprava 235/70 R15

Použité disky: Přední náprava 4,5Jx14 4x130 (Škoda)

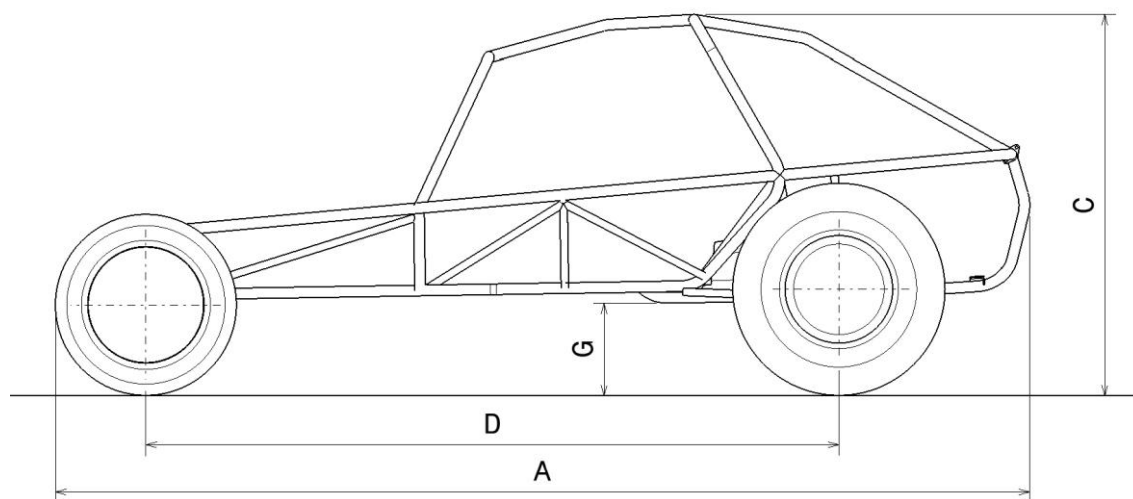
Zadní náprava 6,5Jx15 5x120 (BMW)

Konstrukčně byly upraveny polohy středů disků a uzpůsobeny rozteče děr pro nápravy vozu Š 120. Díky tomu se zvětšil rozchod kol vpředu o 135 mm a vzadu o 300 mm.

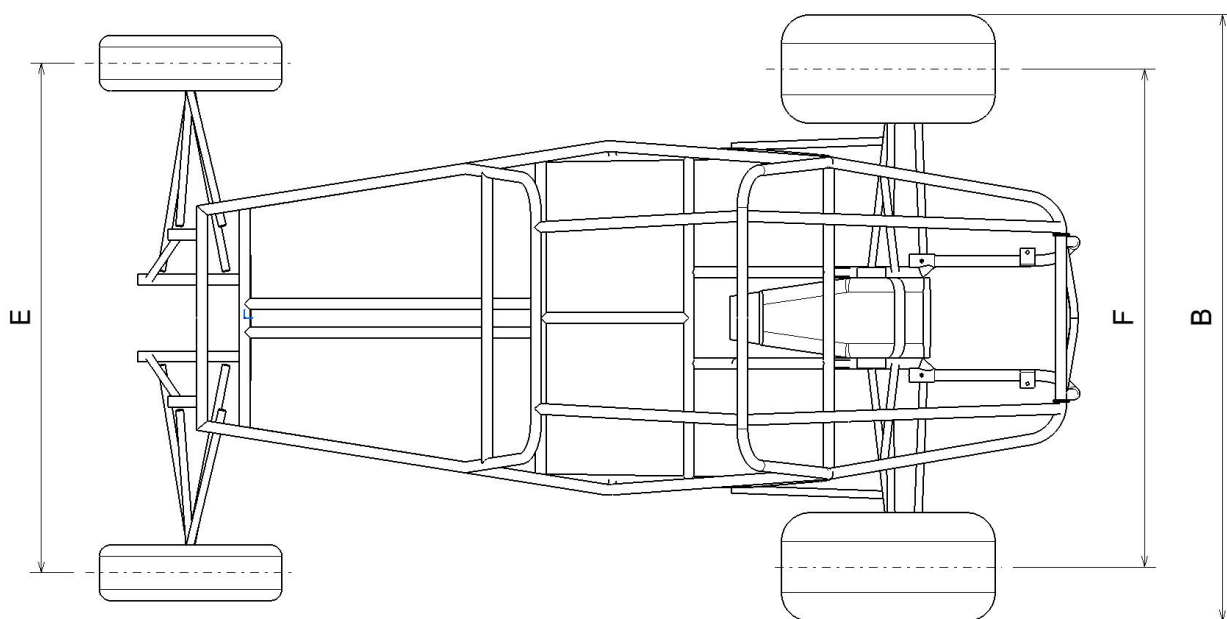
Tabulka č. 6: Technické údaje vozu Škoda Buggy vlastní výroby

Pozice	Technické údaje	[mm]
A	Celková délka*	3160
B	Celková šířka*	1885
C	Celková výška*	1350
D	Rozvor	2400
E	Rozchod vpředu*	1525
F	Rozchod vzadu *	1650
G	Světlná výška*	280

* = Parametry označené tímto symbolem se mohou lišit v závislosti s použitým typem disků a pneumatik.

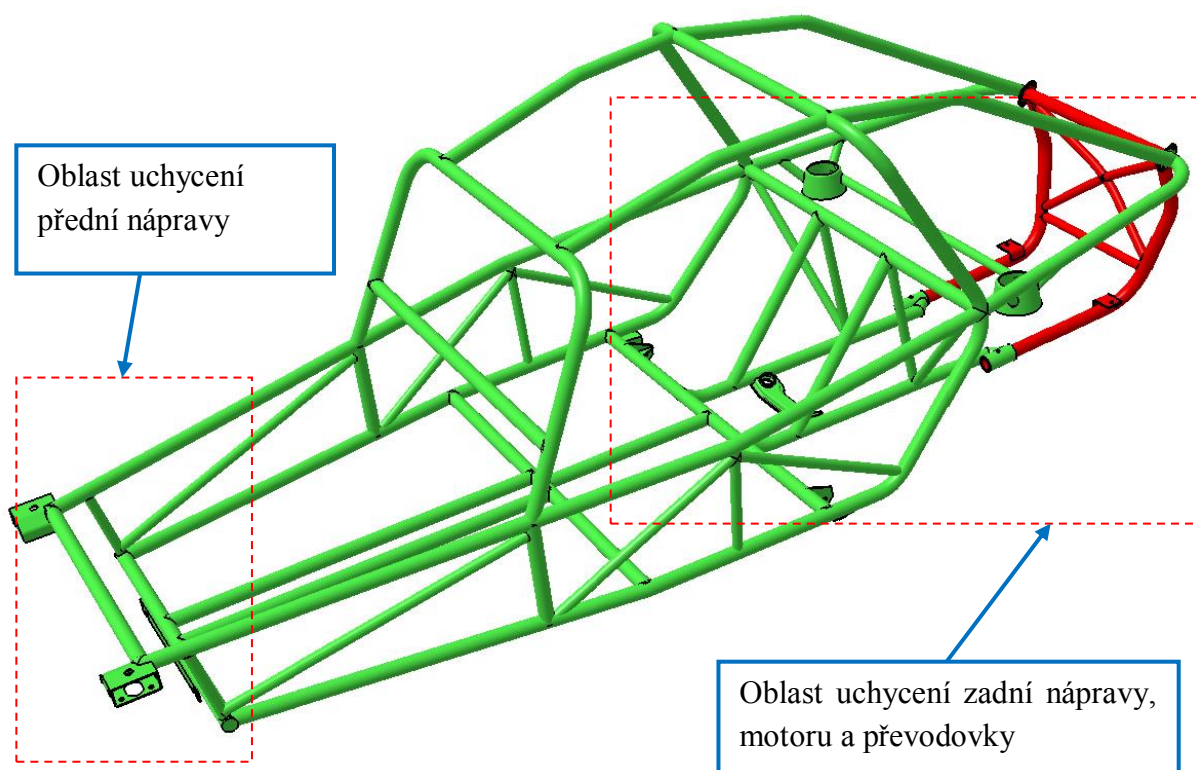


Obr. 22 Základní technické parametry buginy



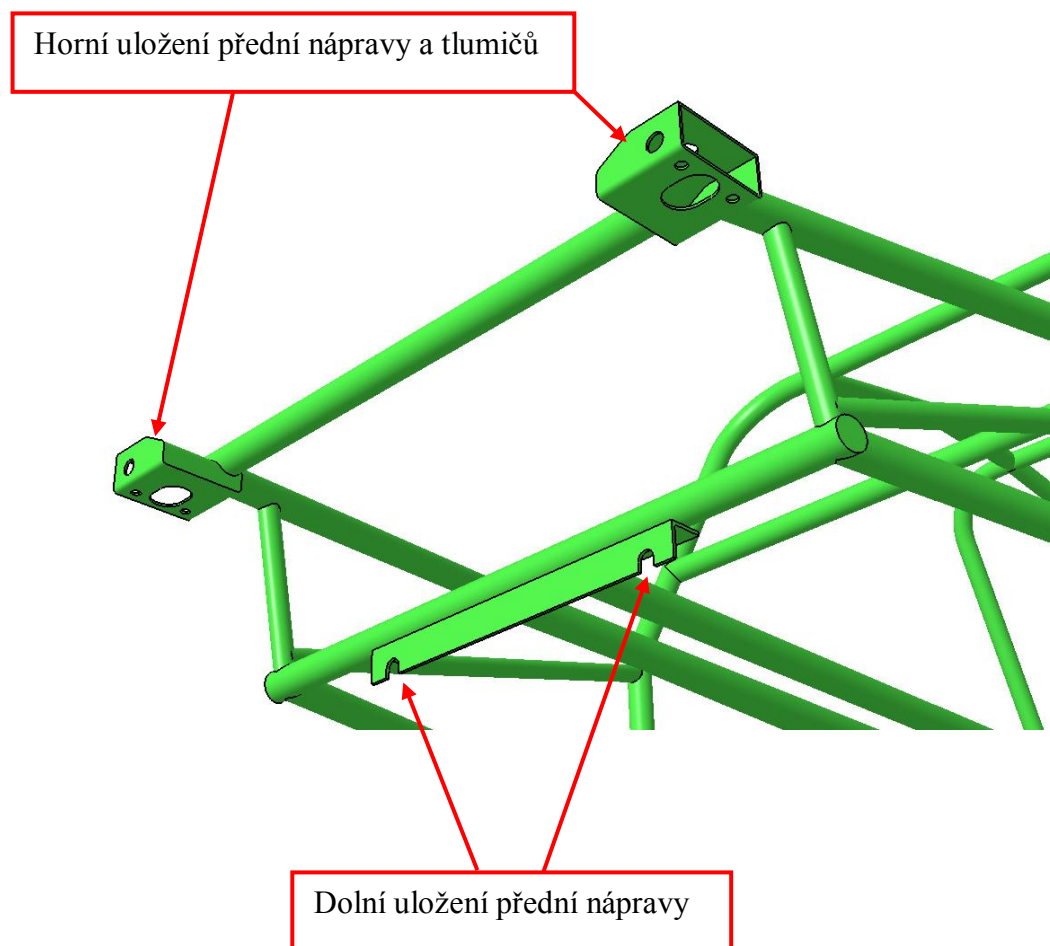
Obr. 23 Základní technické parametry buginy

2.3.2 Detailní pohledy připojitelných rozhraní

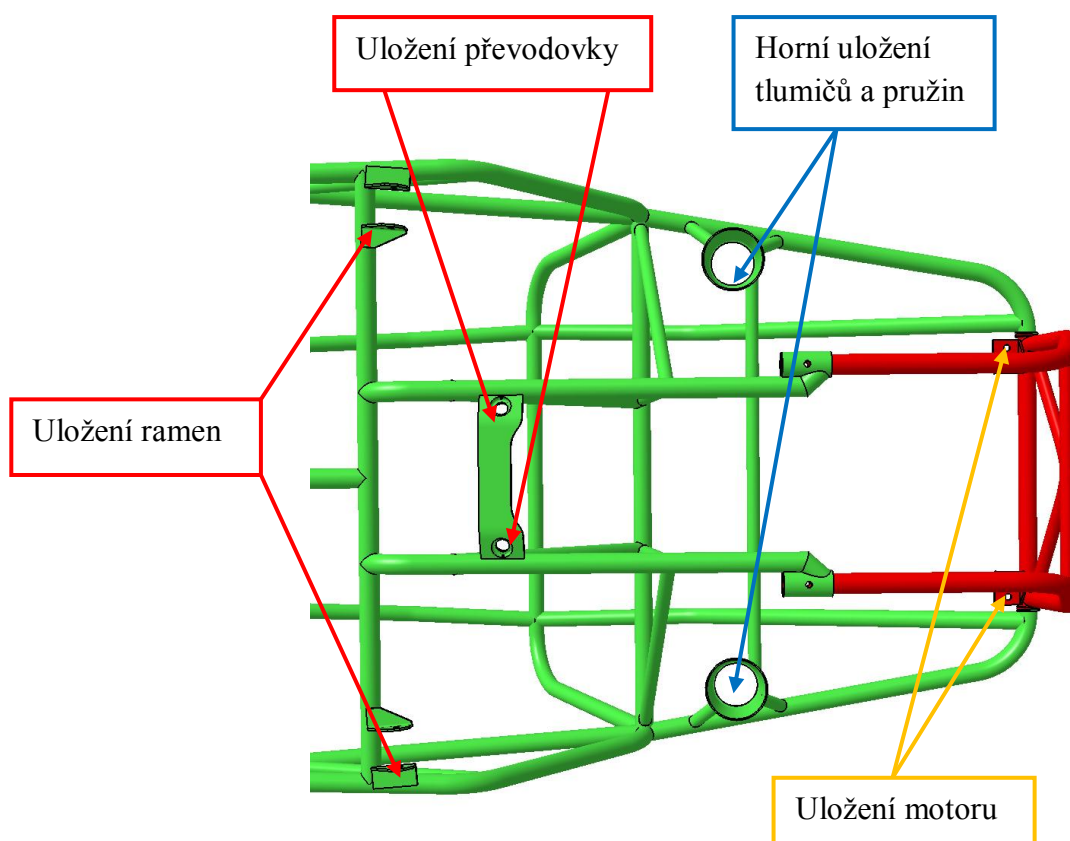


Obr. 24 ISO Pohled rámu buginy

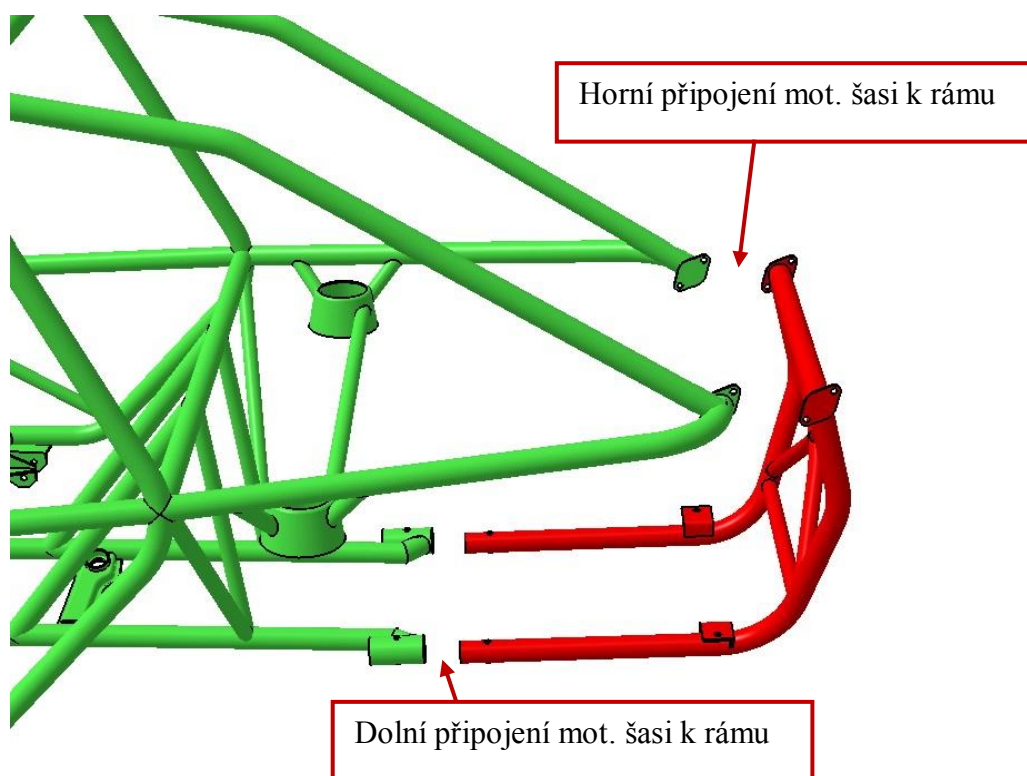
Na obr. 24 je zobrazen celkový pohled na rám s vyznačenými oblastmi pro přípojná místa náprav, motoru a převodovky. Jejich detailní pohledy a popisky je pak možné vidět na obr. 25, obr. 26 a obr. 27.



Obr. 25 Detailní pohled na uložení přední nápravy



Obr. 26 Detailní pohled na uložení zadní nápravy, motoru a převodovky



Obr. 27 Detailní pohled uložení motorového šasi

3 Pevnostní analýza rámu

V následující kapitole se budu zabývat výpočtem vlastní frekvence rámu a zkoumáním statických a dynamických účinků sil na konstrukci samonosného rámu.

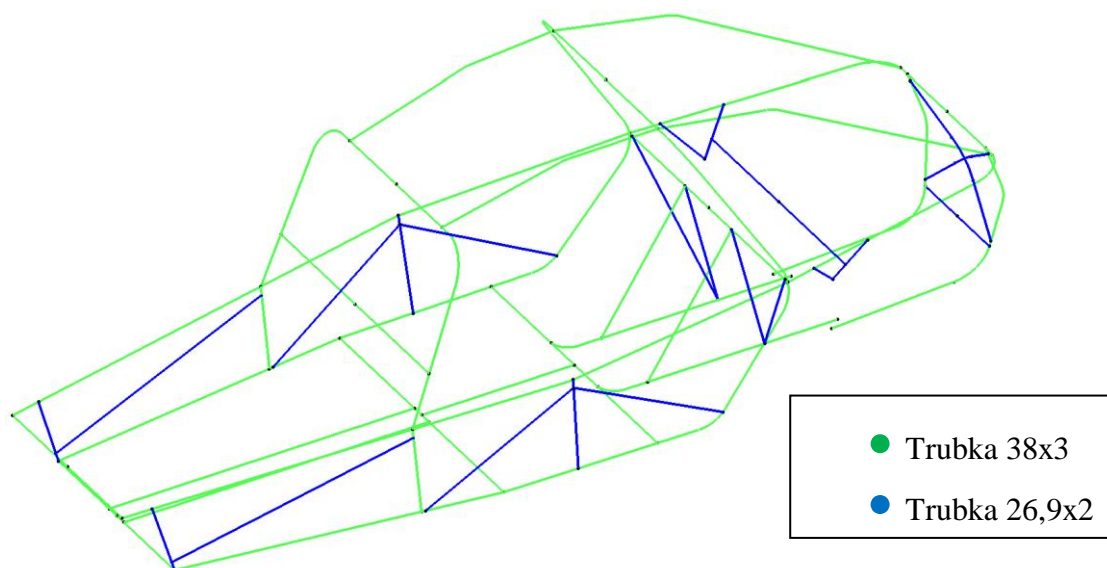
3.1 Vytvoření konstrukčního návrhu zástavby rámu pro výpočtové analýzy

Pro potřeby výpočtů budu vycházet ze základních technických informací (tabulka č. 6), které dále doplním o hmotnostní údaje nejvýznamnějších prvků. Hmotnost prvků byla zjištěna vymodelováním v 3D softwaru – v případě rámu anebo přímým odečtením na váze, což je případ těch ostatních. Seznam níže uvedených prvků vychází z jejich navrhovaného rozmístění (obr. 9, obr. 10).

Tabulka č. 7: Hmotnosti jednotlivých částí vozu Škoda Buggy

Pozice	Název	m [kg]
1	samonosný trubkový rám	103
2	přední náprava	60
3	zadní náprava	50
4	převodovka	25
5	motor	90
6	palivová nádrž	25
7	autobaterie	20
8	pasažér + sedadlo	95
9	kolo přední nápravy	15
10	kolo zadní nápravy	25

Materiál určený pro konstrukci rámu je konstrukční ocel třídy 11 375, která má smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$ 235 MPa a pevnost v tahu R_m 360 MPa [19]. Je to konstrukční ocel, tavná svařitelnost je zaručená, vhodná pro tváření za studena. Jako polotovár byla zvolena trubka podélně svařovaná hladká, o průměru 38 mm, tloušťce stěny 3 mm a trubka o průměru 26,9 mm a tloušťce stěny 2 mm. Jejich průřezové charakteristiky uvádí tabulka č. 8 a prostorové rozmístění na rámu je patrné z obr. 28.



Obr. 28 Barevné rozlišení dle zastoupení použitých konstrukčních nosníků

Tabulka č. 8: Přehled použitých profilů a jejich průřezových charakteristik

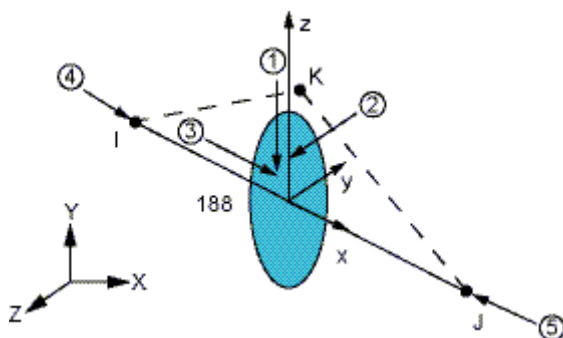
Profil	A [cm ²]	W _{pl} [cm ³]	I [cm ⁴]
ø38x3	3,30	3,68	5,09
ø 26,9x2	1,56	1,24	1,22

Zdroj: [20]

3.2 Příprava dat pro simulaci

Pro počítání metodou konečných prvků (zkr. MKP) byl vytvořen drátěný model rámu v programu Catia V5 R19, viz obr. 20, který byl optimalizován vzhledem k objemovému modelu pro efektivnější výpočty. Tento soubor byl následně použit v programu ANSA 13.03, což je preprocesor, program určený k přípravě dat pro samotnou analýzu. Byl proveden Meshing – tvorba sítě modelu, který celý model rozdělil na jednotlivé elementy.

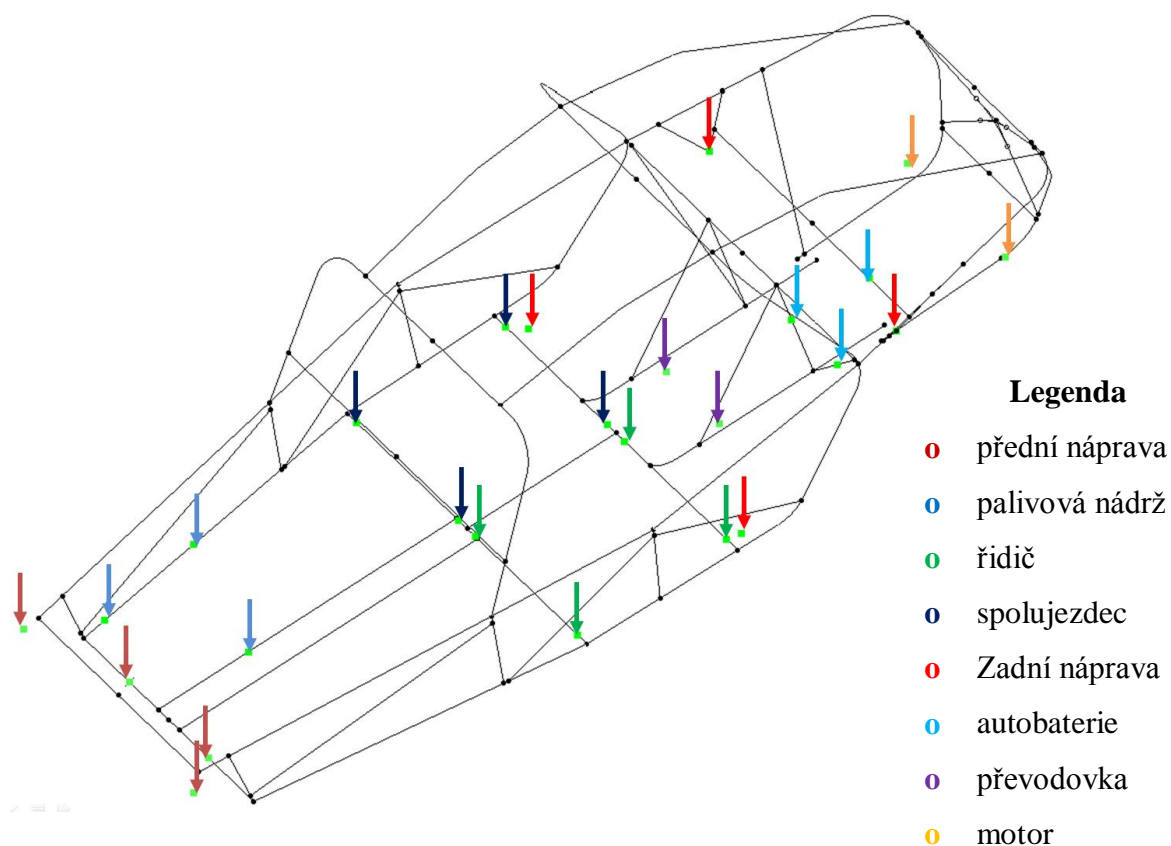
Všechny elementy rámu jsou typu BEAM 188, který je uveden na obr. 29. Jedná se o lineární prutový element se dvěma uzly I a J, přičemž každý z nich má v prostoru 6° volnosti. Uzel K je potřebný pro orientaci elementu. Umožňuje velké deformace, proto je vhodný k řešení prutových konstrukcí. [21]



Obr. 29 element *BEAM 188* použitý pro síťování modelu[23]

Všem elementům byl přiřazen příslušný rozměr použitých trubek, byly doplněny geometrické okrajové podmínky v závislosti na způsobu zatížení a dodány materiálové vlastnosti. [22]

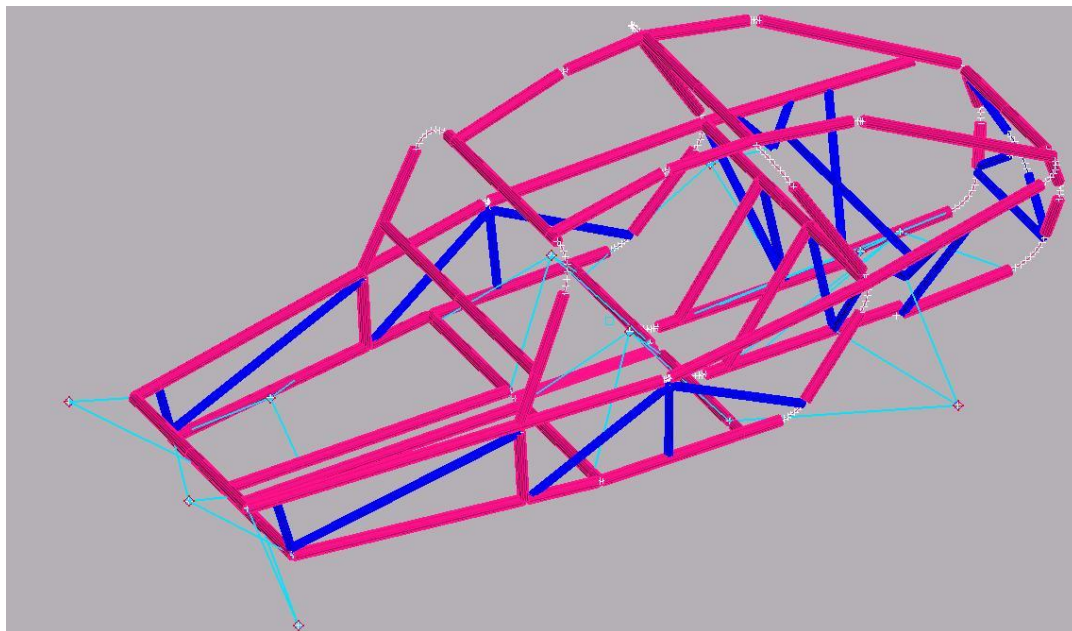
- Materiál je isotropní, lineární a elastický
- Modul pružnosti v tahu (tlaku) $E = 2,1e^5$ MPa
- Poissonova konstanta $\mu = 0,3$
- Hustota oceli $7\,850\text{ kg/m}^3$



Obr. 30 Vyznačení sil působících v daném místě rámu

(pozn.: působení sil od kol zde není uvedeno, neboť je vázáno přímo k jednotlivým nápravám.)

Takto vytvořený model rámu se zatíží prvky z tabulky č. 7. K rámu se připojí hmotné body reprezentující prvky, které pomocí vazeb vnáší bodově reakce do rámu a to v místech k tomu určených, jak je tomu na obr. 30. Jeho finální interpretaci v programu ANSA pak můžeme vidět na obr. 31.

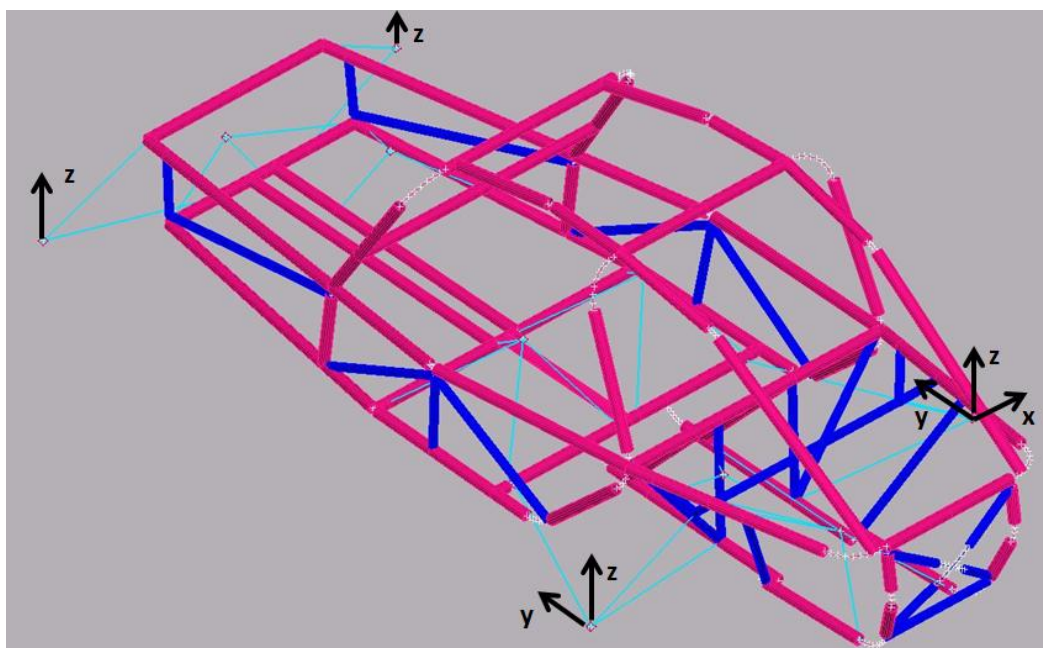


Obr. 31 Výsledný model rámu, určený k výpočtové analýze

3.3 Výpočet statického namáhání rámu

3.3.1 Vertikální namáhání na ohyb

Pro zajištění správného průběhu deformací a napětí rámu od vertikálního zatížení, se musí nastavit vhodné geometrické okrajové podmínky. Model se upevní v místech středů kol a jejich jednotlivé posuny se zabrání ve směru šípek, jak je tomu znázorněno na obr. 32. Velikost tíhového zrychlení se uvažuje pro celý model $1\text{ g} = 9,81\text{ m/s}^2$.

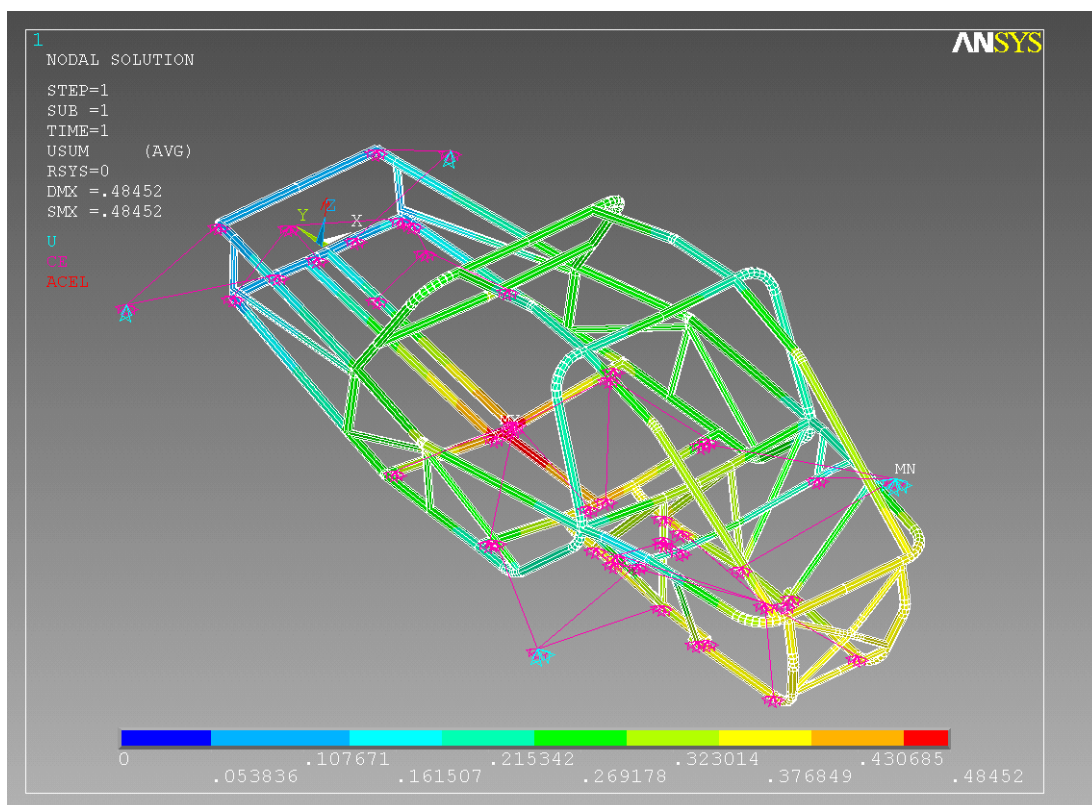


Obr. 32 Model rámu, určený k vertikálnímu namáhání

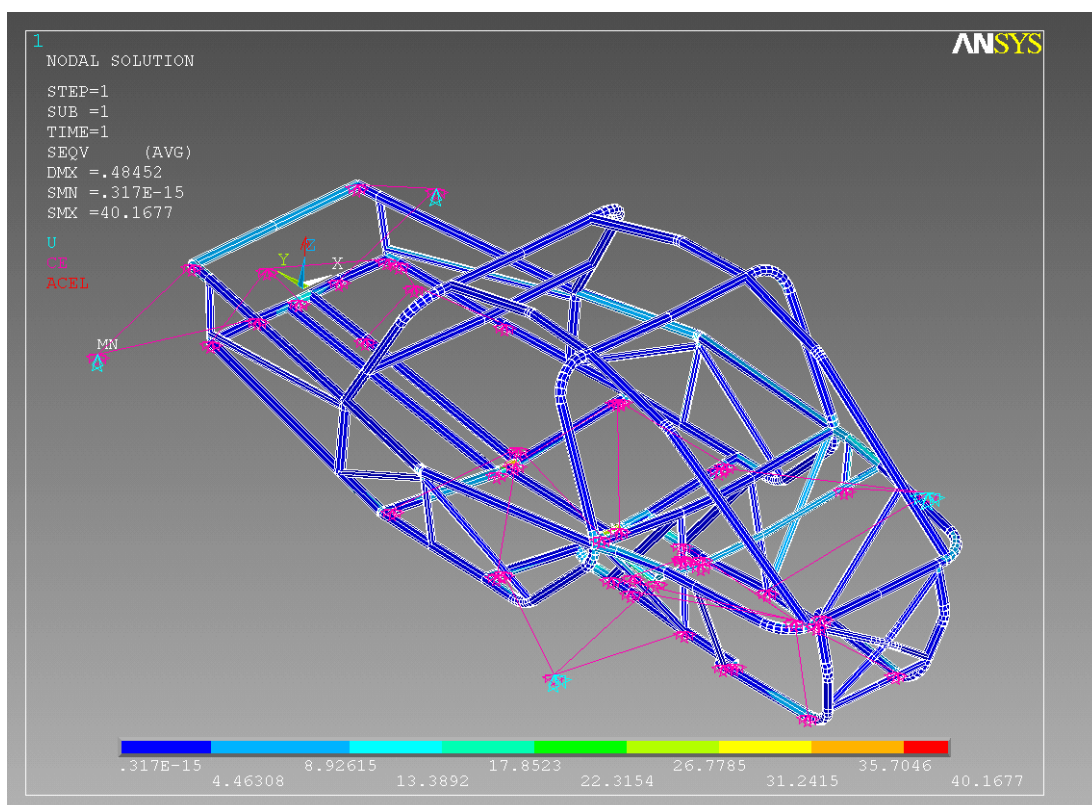
Celá výpočtová analýza, tzv. processing a následná interpretace výsledků, tzv. post processing probíhá v programu ANSYS 12.2.0.

Na obr. 33 je patrný maximální posuv rámu od daného vertikálního zatížení. Nachází se v oblasti mezi posádkou u předních vnitřních držáků sedaček a tato hodnota dosahuje téměř 0,5 mm.

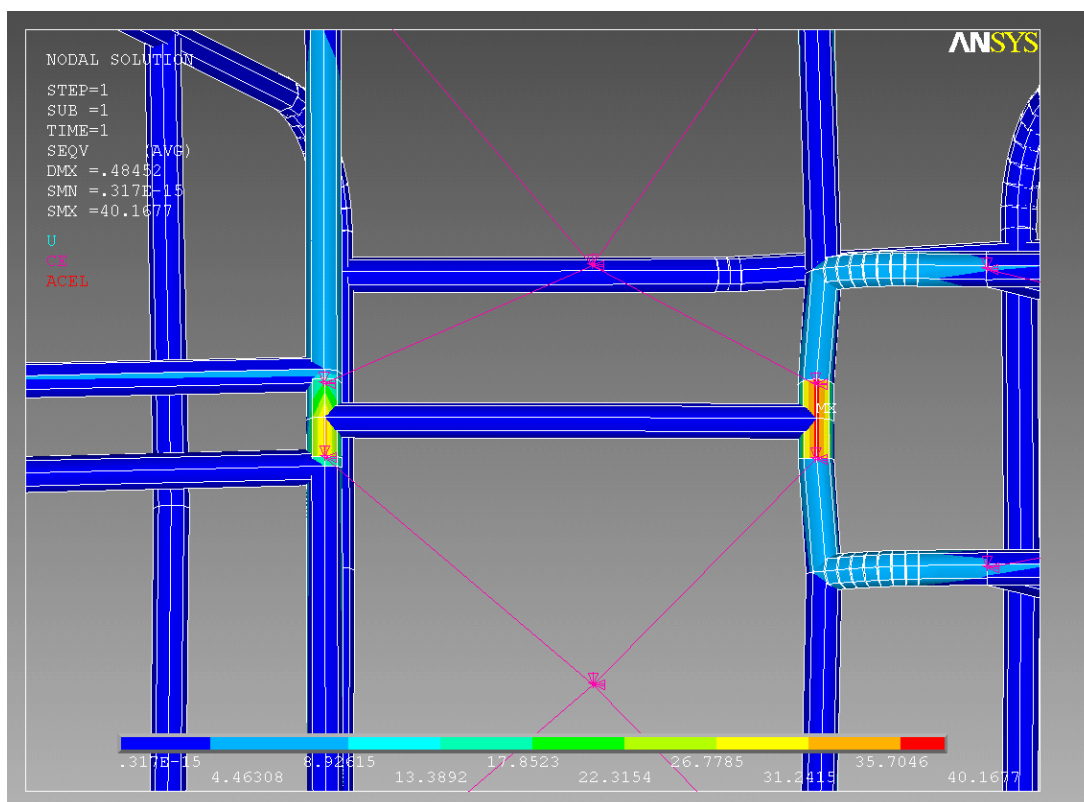
Z obr. 34 je patrné, že v této oblasti dochází i k největšímu namáhání a maximální hodnota Von Misesova napětí dosahuje 40,2 MPa. Detailnější zobrazení je znázorněno na obr. 35. Hodnota smluvní meze kluzu je 235 MPa, a proto maximální naměřená hodnota bezpečně vyhovuje.



Obr. 33 Maximální posuvy od vertikálního, statického zatížení



Obr. 34 Průběh Von Misesova napětí od statického zatížení



Obr. 35 Detail maximálního Von Misesova napětí od statického zatížení

3.3.2 Určení těžiště celé buginy

Rozložení hmotnosti mezi obě nápravy výrazně ovlivňuje vlastnosti jízdy. Při větším zatížení přední nápravy dochází k nedotáčivosti a v případě většího zatížení zadní nápravy dojde k přetáčivosti vozu. Určitým kompromisem je dosáhnout stejného zatížení obou náprav, kdy se vozidlo chová neutrálně. Proto je nutné znát polohu těžiště vozu, aby bylo možné zjistit jednotlivé zatížení náprav.

Pro určení těžiště celé buginy včetně posádky vycházím z jejího statického namáhání z předešlé kapitoly. Základní souřadnicový systém se nachází v ose přední nápravy. Poloha těžiště určená v programu ANSA je v bodu: $X=0$ mm, $Y=-1579$ mm, $Z=170$ mm. Z reakcí zavedených do středů kol tak vyšla jejich jednotlivá zatížení, která jsou uvedena v tabulce č. 9. Rozdílné reakční síly na jednotlivých kolech svědčí o asymetrickém rozložení hmotností. Přední náprava je celkově zatížena silou 1 709 N a zadní silou 4 882 N. To znamená, že hmotnostní poměr mezi přední a zadní nápravou je 26:74.

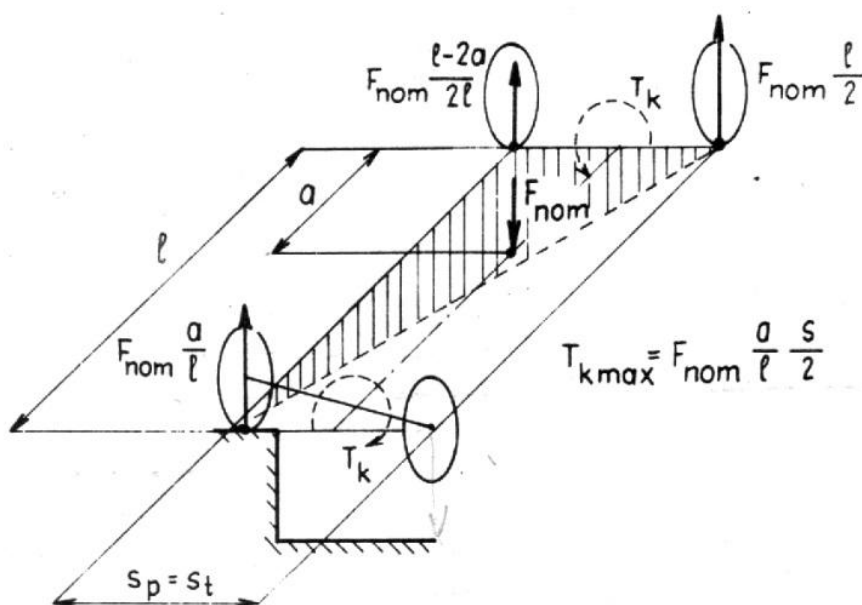
Ze získaného výsledku těžiště vyplývá, že leží v podélné ose buginy a je za polovinou délky rozvoru a díky většímu zatížení zadní nápravy má bugina tendenci k přetáčení.

Tabulka č. 9: Přehled vertikálních zatížení jednotlivých kol

Kolo	Zatížení [N]
Přední pravé	929
Přední levé	780
Zadní pravé	2 507
Zadní levé	2 375

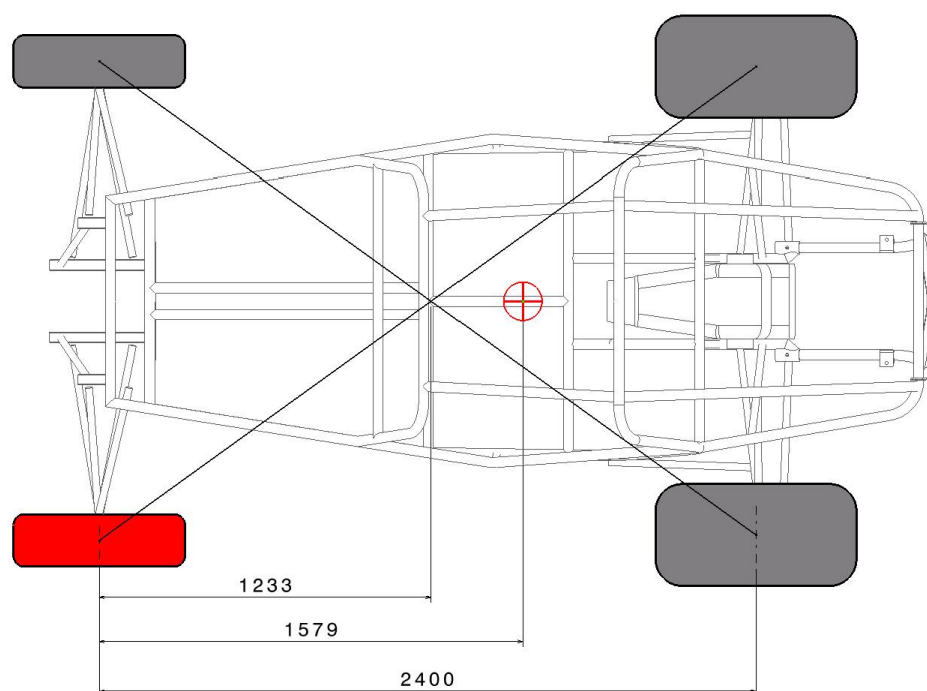
3.3.3 Namáhání na krut

Dalším důležitým druhem statického zatížení je zatížení krutové. Vzniká např. při nájezdu jednoho kola na výstupek nebo propadlinu ve vozovce. Maximální statický krouticí moment na karoserii T_{kmax} tak vznikne při úplném odlehčení jednoho kola, obr. 36 [23]. Pro výběr odlehčeného kola se vychází z podmínky, kdy kolo musí ležet nejdále od těžiště vozu a tím tak vyvolá největší krouticí moment. Zjištěním těžiště buginy nám plyne, že zkoumané kolo musí být na přední nápravě a proto volím, přední levé, viz obr. 37. [24]

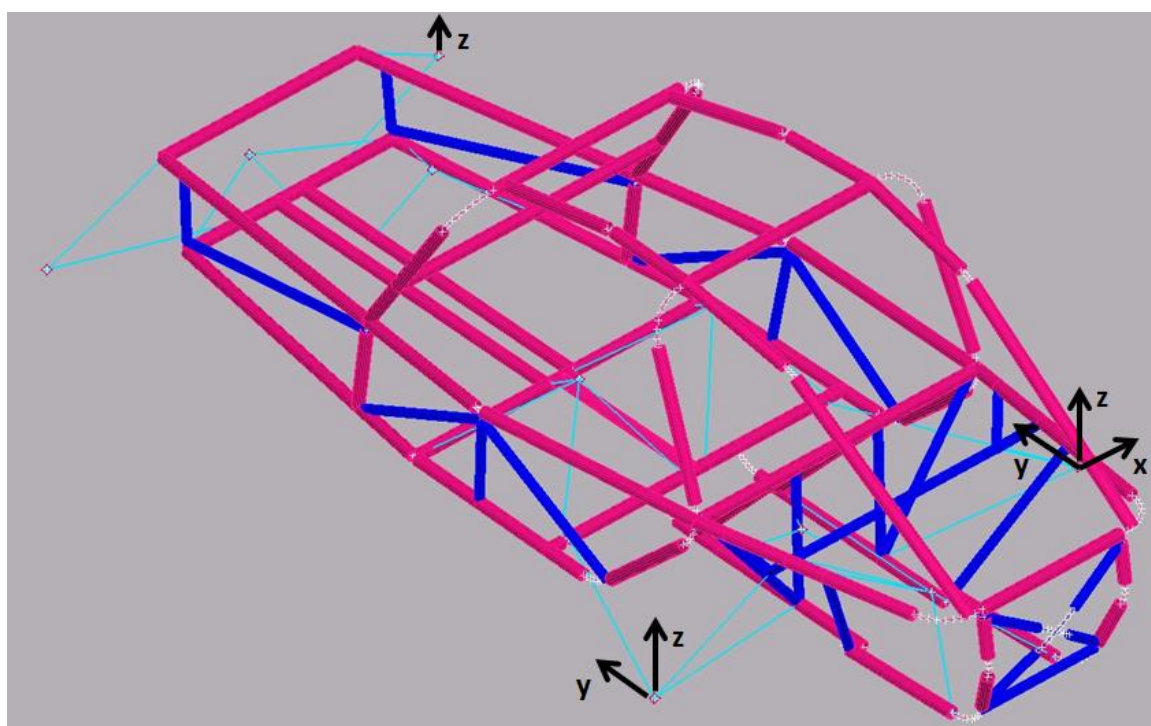


Obr. 36 Stanovení odlehčeného kola pro výpočet [23]

Pro namáhání rámu krutem se model upevní na třech místech symbolizující středy kol a jejich jednotlivé posuny se zabrání ve směru šipek jak je tomu znázorněno na Obr. 38. Zatížení rámu a velikost tíhového zrychlení je stejná jako v případě vertikálního ohybu.

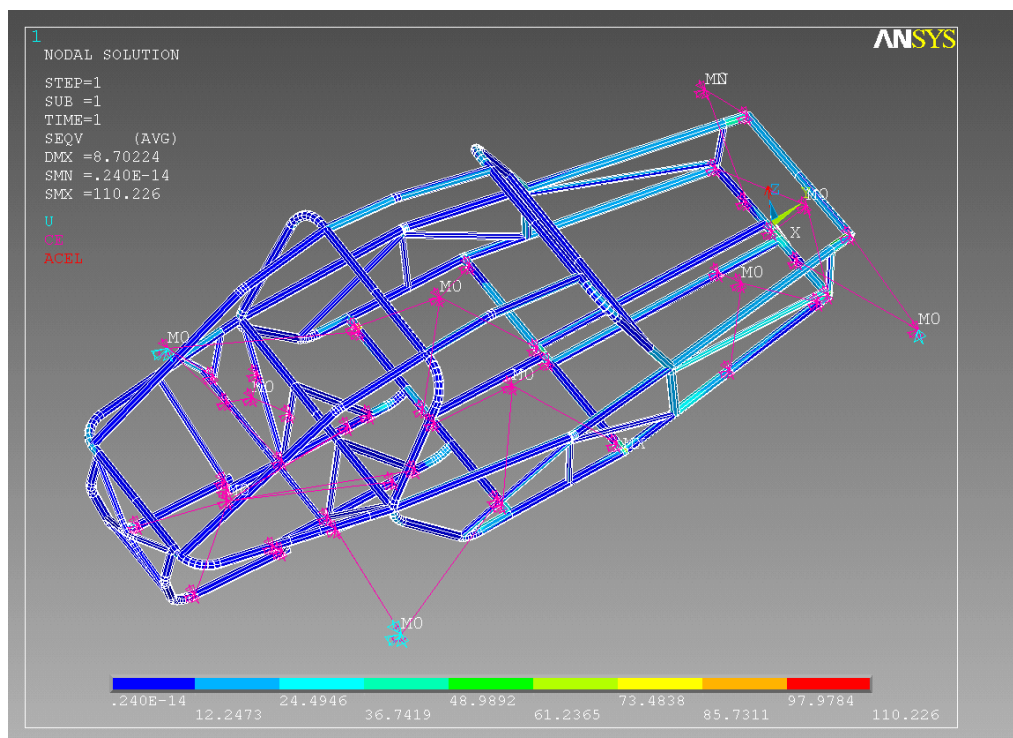


Obr. 37 Stanovení odlehčeného kola pro krut

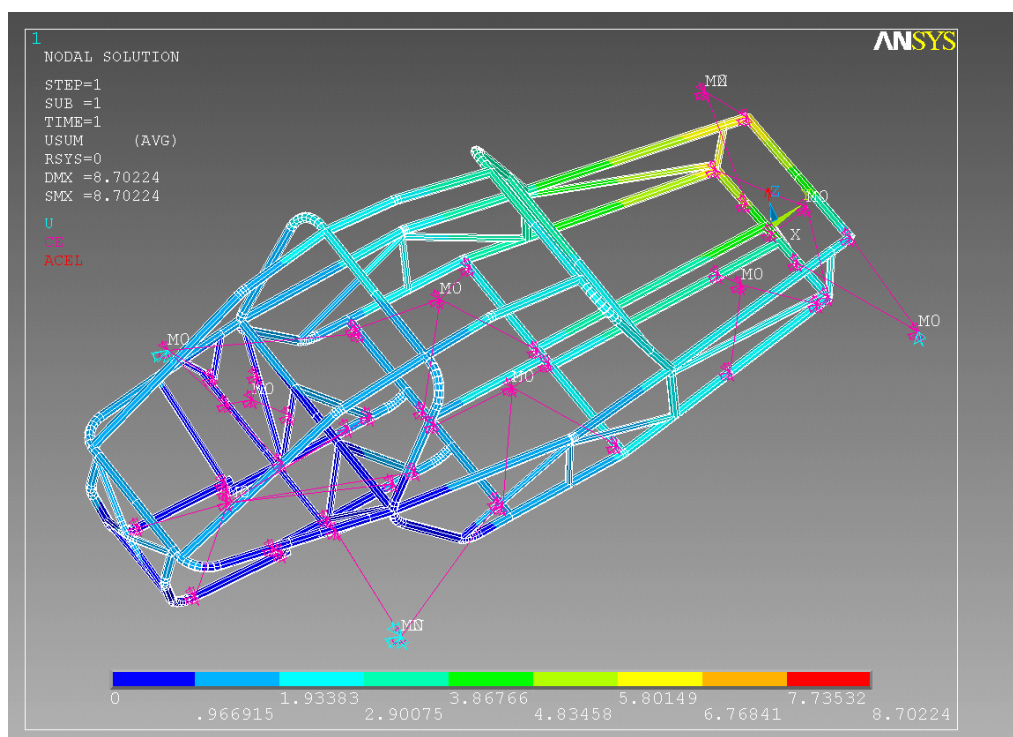


Obr. 38 Zatížený model rámu, určený k statickému výpočtu krutu

Na Obr. 39 můžeme vidět průběh Von Misesova napětí namáhaného rámu na krut. Jeho maximální hodnota dosahuje 110,2 MPa, což bezpečně vyhovuje smluvní mezi kluzu. Jedná se o velmi malou oblast označenou šipkou. Jak je patrné z Obr. 40, hodnota maximálního posunu se nachází ve středu nezatíženého kola a činí 8,7 mm.



Obr. 39 Průběh Von Misesova napětí namáhaného rámu na krut



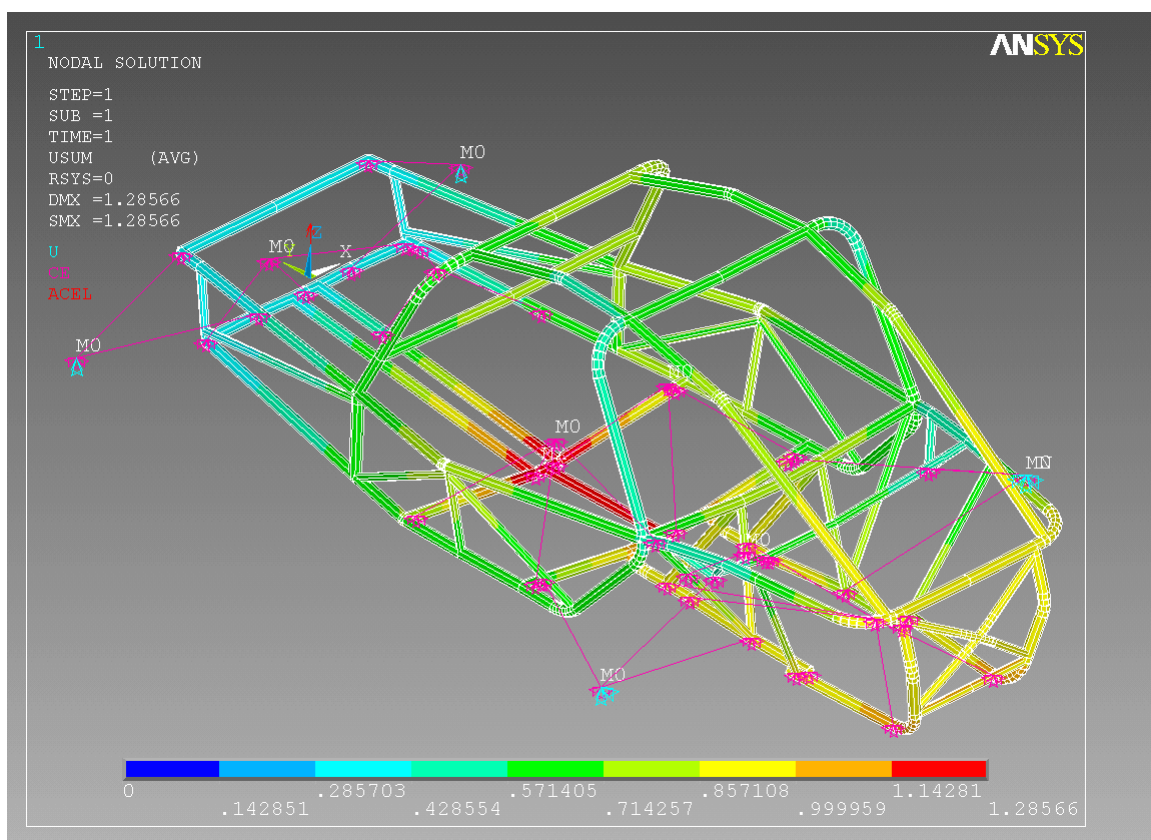
Obr. 40 Průběh maximálních posunů od krutového namáhání

3.4 Výpočet dynamického namáhání rámu

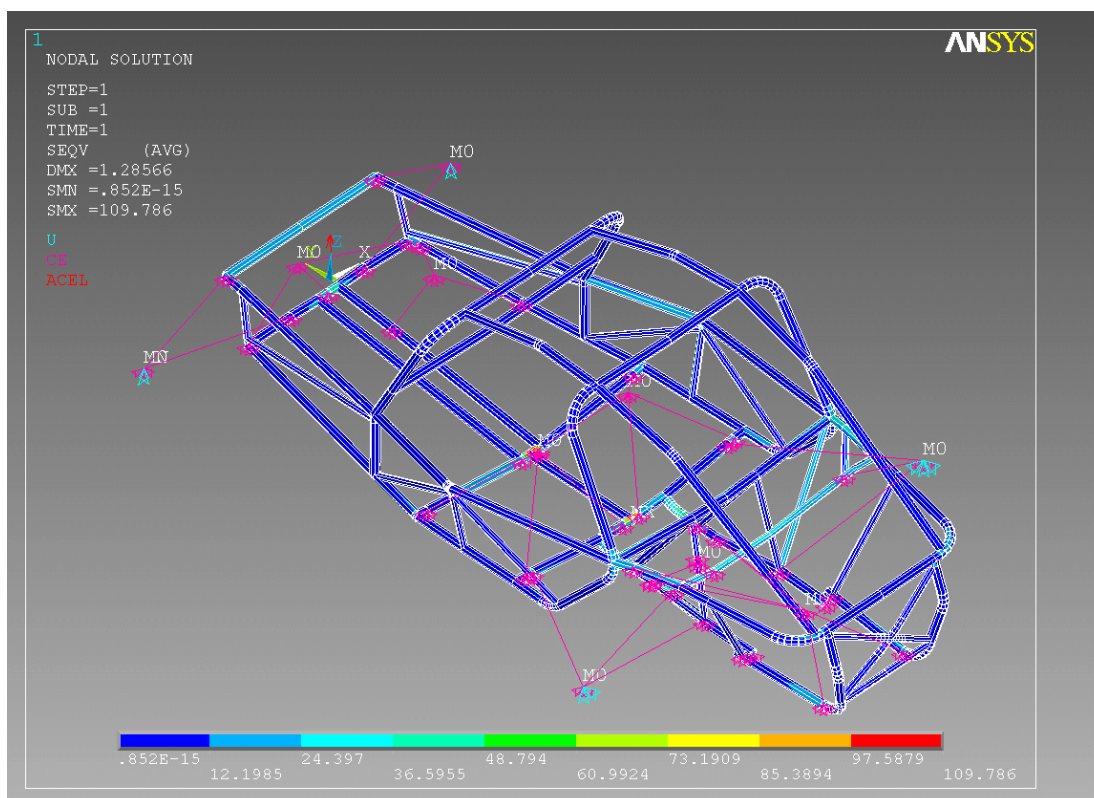
Dynamiccké namáhání rámu budu řešit pomocí kvazistatického zatížení. Je vyjádřené násobkem statického zatížení a jedná se tak o nejjednodušší vyjádření dynamických účinků za účelem dimenzování [24]. Tato metoda je vhodná např. k určení síly pro dimenzování skeletu nebo ke zjištění lokálních sil od zavěšení kol a pérování.

3.4.1 Vertikální namáhání na ohyb

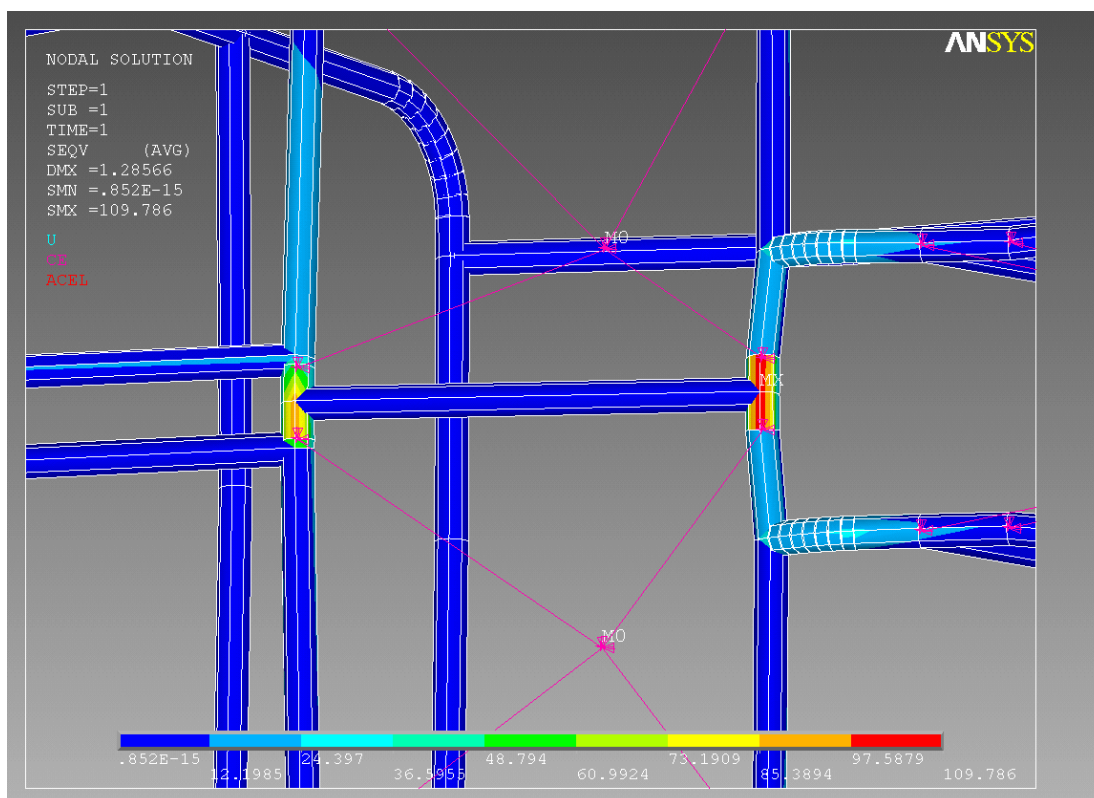
Postup výpočtu je stejný, jako je tomu u statického namáhání. Jediný rozdíl je v zatížení prvků. Cílem je zjistit, jak je rám namáhán při větším zatížení, a proto velikost tíhového zrychlení bude pro všechny ostatní prvky z tabulky č. 7 rovna $3g = 3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2$. Z obr. 41 je patrné, že maximální posuv rámu nám vyšel opět mezi sedačkami a činí 1.3 mm. Na obr. 42 je možné sledovat průběh Von Misesova napětí od celkového zatížení a na obr. 43 pak jeho detailní pohled na maximum, které činí 109,8 MPa. Hodnota maximálního napětí je menší než smluvní mez kluzu, a proto rám pevnostně vyhovuje.



Obr. 41 Průběh maximálních posunů od kvazistatického vertikálního zatížení



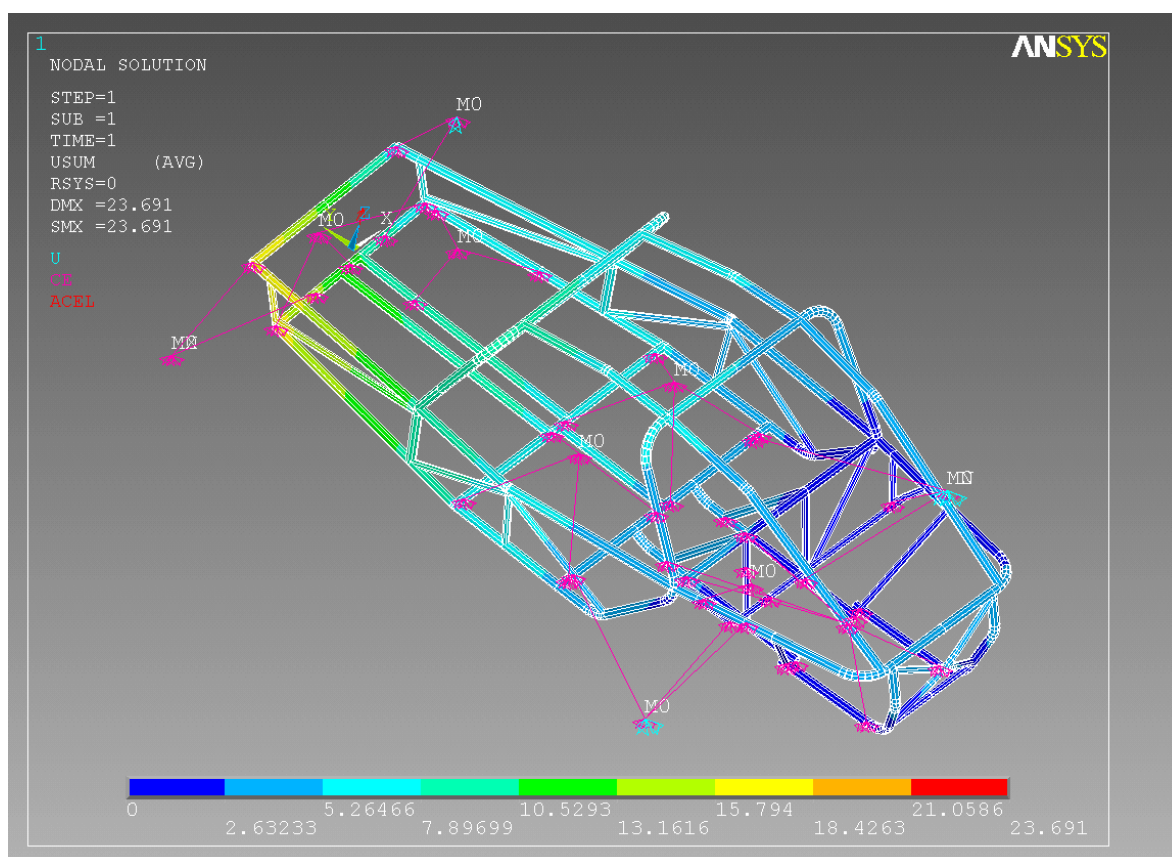
Obr. 42 Průběh Von Misesova napětí od kvazistatického vertikálního zatížení



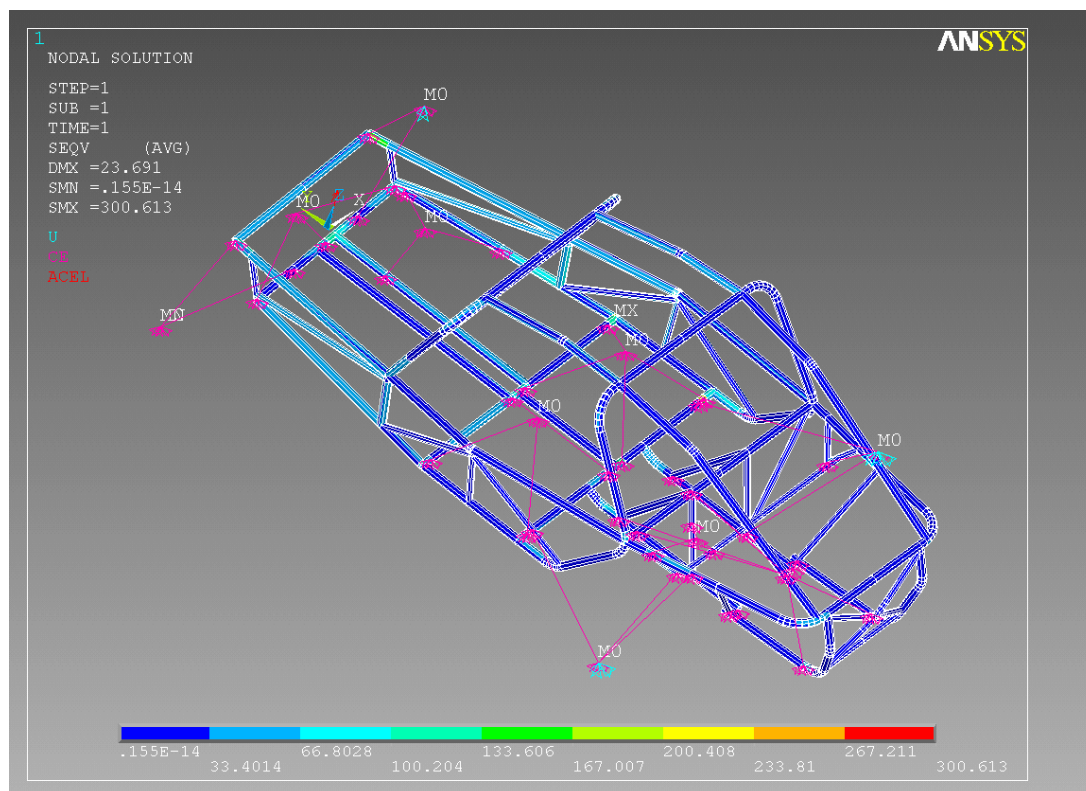
Obr. 43 Detail max. Von Misesova napětí od kvazistatického vertikálního zatížení

3.4.2 Namáhání na krut

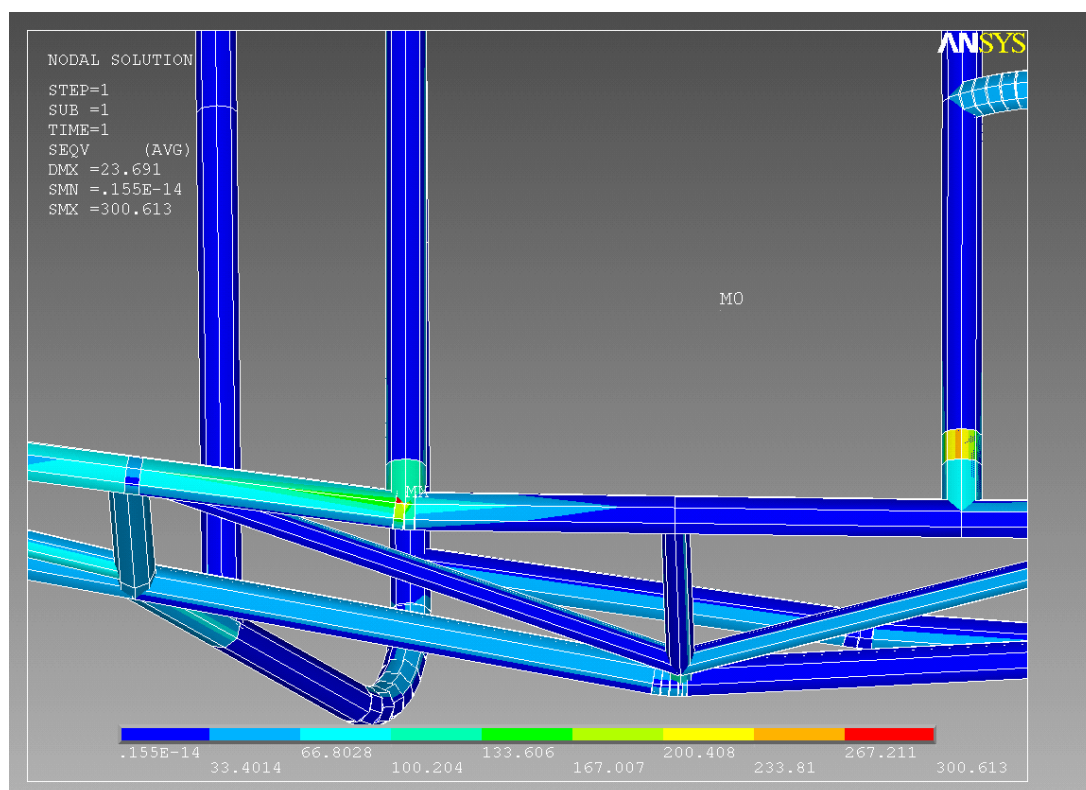
Postup výpočtu je stejný, jako je tomu u statického namáhání rámu na krut, ale hodnoty zatížení rámu jsou identické jako u kvazistatického namáhání na vertikální ohyb. Z obr. 44 vyplývá, že k maximálnímu posunu dochází na odlehčeném kole a hodnota průhybu je 23,7 mm. Na obr. 45 je možné sledovat průběh Von Misesova napětí od celkového zatížení a na obr. 46 pak jeho detailní pohled na maximum. Hodnoty maximálního napětí dosahuje 300,6 MPa. Znamená to, že byla překročena smluvní mez kluzu, ale zároveň je stále menší než mez pevnosti v tahu. V této oblasti by mohlo dojít k trvalé plasticitě. Vzhledem k tomu, že se jedná pouze o malou oblast a zbylá část rámu se nachází bezpečně pod smluvní mezí kluzu, nepovažoval bych to za alarmující.



Obr. 44 Průběh maximálních posunů od kvazistatického zatížení na krut



Obr. 45 Průběh Von Misesova napětí od kvazistaticky zatíženého rámu na krut

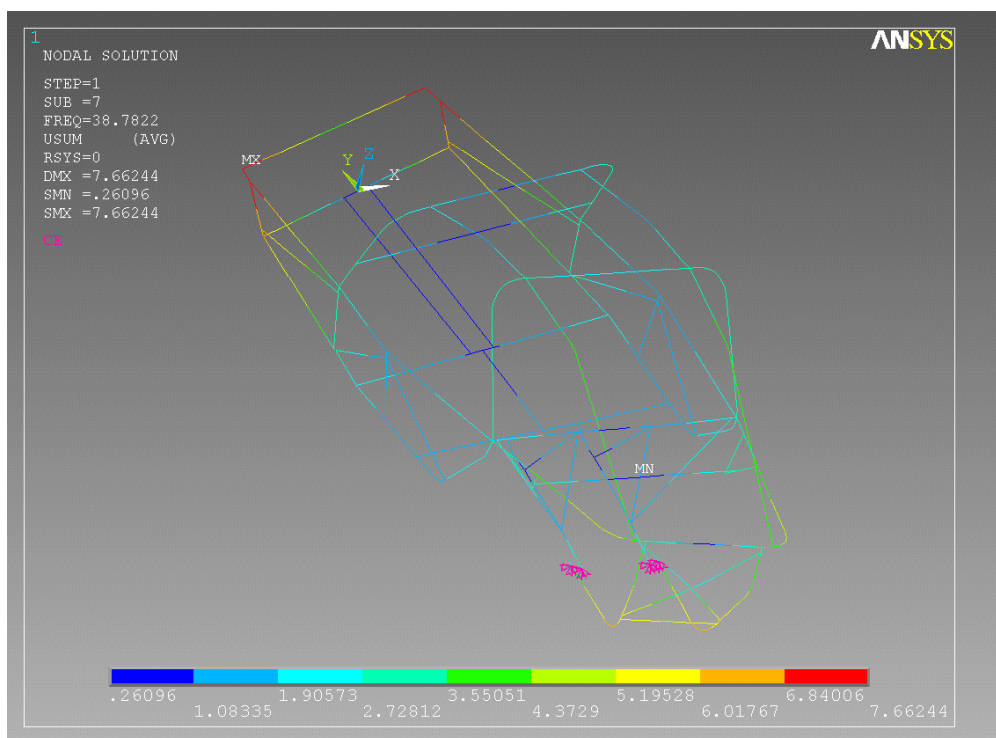


Obr. 46 Detailní pohled na maximální Von Misesovo napětí

3.5 Výpočet vlastní frekvence rámu

Každé těleso má svojí vlastní (rezonanční) frekvenci, při které začne rezonovat. V případě, že známe tuto frekvenci, můžeme těleso za pomoci vnější síly o právě této frekvenci dostat do rezonance. Oblast rezonance je zesílení kmitů a tedy i velice malá budící síla dokáže rozrezonovat veliké těleso. Výskyt v těchto oblastech kmitání je pro konstrukci rámu nežádoucí a je snaha se v co nejkratším čase dostat mimo ně. V opačném případě to představuje závažný problém a může dojít k trvalému poškození rámu nebo dokonce i k destrukci. Typické budící síly vznikají např. od motoru anebo od vozovky. Odstranění rezonance můžeme dosáhnout zejména změnou vlastní frekvence tělesa nebo některé z jeho částí (v případě sestavy) a to např. změnou tvaru, hmotnosti nebo úpravou tlumící a pružící jednotky. Vzhledem k tomu, že tato problematika se podrobněji řeší až rámci magisterského studia, budu se jí zabývat pouze okrajově.

Pro zjištění vlastních frekvencí rámu budu zkoumat pouze samotný nezatížený rám, volně umístěný v prostoru, který má 6° volnosti. Podle [24] je nutné, aby se první vlastní frekvence pohybovala mimo nebezpečné pásmo 0÷20 Hz. Ze zadaných počátečních podmínek vypočítal program ANSYS první nenulovou hodnotu 38,8 Hz, což tuto podmínku naprosto splňuje. Výsledek měření můžeme vidět na obr. 47.

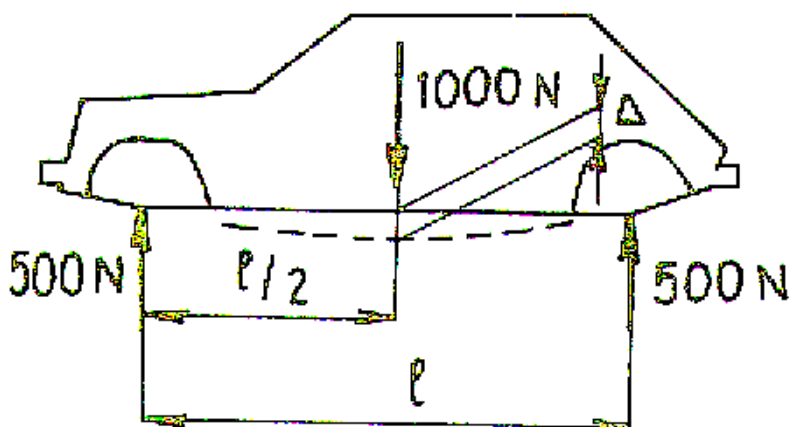


Obr. 47 Výsledný model rámu, určený k výpočtové analýze

4 Optimalizace rámu

V předchozí kapitole jsme zjistili, že smluvní mez kluzu $R_{p0.2} = 235 \text{ MPa}$ byla překročena pouze v případě kvazistatického namáhání rámu na krut, jinak v ostatních případech byla hodnota maximálních napětí bezpečně pod touto hranicí. To znamená, že během základní statické zkoušky nedochází k trvalé deformaci a plasticitě materiálu. U dynamické, resp. kvazistatické zkoušky se v případě krutu dosáhlo většího napětí a to 300.6 MPa . Jak už jsem ale zmiňoval, až na tuto lokální oblast je zbylá část rámu bezpečně pod hodnotou smluvní meze kluzu, a proto tento výsledek nepovažují za alarmující.

Velikost maximálního průhybu od statického vertikálního zatížení je téměř $0,5 \text{ mm}$. Jenom pro srovnání, tuhost samonosných karoserií se hodnotí podle průhybu pod působící silou, jak je tomu na obr. 48, a běžný průhyb se udává mezi $0,1\text{-}0,4 \text{ mm}$ [24]. Domnívám se, že v případě mého rámu, kdy se jedná o celkové vertikální zatížení, je hodnota průhybu v řádu desetin milimetru zcela běžná a není tak nutné provést opatření, které by vedlo k jeho snížení.



Obr. 48 Zkouška průhybu karoserie [24]

I přesto jsem provedl jednoduchou úpravu rámu. Vycházel jsem z kvazistatického vertikálního zatížení rámu na ohyb z kapitoly 3.5.1. Na obr. 49 je ukázka optimalizace rámu v oblasti jeho maximálního průhybu. V místě označeném černou šipkou jsem přidal výztuhu TR 38x3 použitou i v ostatních nosných částech. Výpočet ukázal, že maximální hodnota průhybu z obr. 41 se zmenšila na hodnotu $1,17 \text{ mm}$, což odpovídá zlepšení o 10%. Na druhou stranu je ale více namáhaná oblast vyznačená modrou šipkou a vůči výsledku z obr. 41 se zvětšil její průhyb na hodnotu 1 mm , což představuje zhoršení o 40%. Toto řešení nepovažuji za zcela ideální, a proto v případě potřeby snížení průhybu by bylo nutné nalézt jiné řešení.

Závěr

Ve své práci jsem měl poprvé možnost zabývat se svým dlouholetým koníčkem – terénními buginami – po odborné stránce a vytvořit tak komplexnější práci, doplněnou nejen o konstrukční řešení a vymodelovaný rám, ale i o výpočty, simulace a optimalizaci. Dále tato práce bude do budoucna sloužit jako základ pro hlubší analýzu terénních bugin v mé diplomové práci.

V první kapitole jsem se snažil zhodnotit český trh s buginami. Z mé analýzy je patrné, že na českém trhu je stále prostor pro nové výrobce dvoumístných terénních bugin, zvláště pokud by se jim podařilo schválit jejich provoz na pozemních komunikacích a vytvořit takový prototyp, který by odpovídal přiměřenému poměru cena/výkon. Český trh je bezpochyby velmi malý, s malou poptávkou a v současné době tomu ani nenahrává hospodářská situace země, ale věřím, že průzkum trhu by jistě odhalil skrytý potenciál a určitou poptávku po tomto výrobku.

Druhou kapitolu jsem zaměřil na konstrukční návrh buginy. Realizoval jsem ho dle vybraného vozu Škoda 120, který jsem podrobně popsal. Na základně výchozích technických parametrů buginy jsem vymodeloval její rám v 3D programu – Catia V5 R19, se kterým jsem se naučil pracovat během mého studia na vysoké škole a následně v profesním životě.

Ve třetí kapitole byla provedena jeho pevnostní analýza z hlediska statického a dynamického namáhání. Poměrně náročný byl samotný preprocessing, tedy příprava dat pro simulaci. Bylo obtížné zejména vyladit model pro samotnou výpočtovou část. To znamená nalézt optimální řešení mezi výpočtovým modelem a reálným případem zatížení. V této kapitole jsem se i okrajově zabýval výpočtem vlastní frekvence rámu a jejím projevením.

V poslední kapitole jsem řešil optimalizaci rámu. Z výsledků pevnostních analýz tak vyplývá, že rám nutně nepotřebuje další úpravy. Tím jsem zároveň potvrdil, že reálný rám koresponduje s výpočtovým.

Hlavním cílem bakalářské práce bylo navrhnout konstrukční řešení dvoumístné terénní buginy pro sportovní využití, včetně konstrukčních, modelových, simulačních a optimalizačních výstupů. Troufám si zhodnotit, že cíl práce byl splněn a doufám, že její výstupy a postupy budou mít přínos i pro další odborníky i laiky, kteří se zajímají stejně jako já o terénní buginy.

Seznam obrázků a tabulek

Obr. 1 MTX Škoda Buggy	12
Obr. 2 Škoda Kirby	14
Obr. 3 Škoda buggy S736	16
Obr. 4 Buggy Studio 33	18
Obr. 5 Bugina autodílny Procházka	20
Obr. 6 Detailní pohled na přípojný adaptér	21
Obr. 7 VW buggy v jedné z mnoha úprav	22
Obr. 8 terénní VW Buggy	23
Obr. 9 Předběžný návrh buginy - bokorys	24
Obr. 10 Předběžný návrh buginy - půdorys	25
Obr. 11 Průřez vozu Škoda 120	26
Obr. 12 Průřez vozu Tatra 613	27
Obr. 13 Kinematické schéma lichoběžníkové nápravy	29
Obr. 14 Pohled na přední nápravu vozu Škoda 120	30
Obr. 15 Kinematické schéma kyvadlové nápravy	31
Obr. 16 Řez zadní nápravou vozu Škoda 120	31
Obr. 17 Zadní vinutá pružina vozu Škoda 120	32
Obr. 18 Zadní tlumič pérování vozu Škoda 120	33
Obr. 19 Hřebenové řízení Škoda 120	34
Obr. 20 Výpočtový model rámu	35
Obr. 21 Realistický model rámu	35
Obr. 22 Základní technické parametry buginy	36
Obr. 23 Základní technické parametry buginy	37
Obr. 24 ISO Pohled rámu buginy	37
Obr. 25 Detailní pohled na uložení přední nápravy	38
Obr. 26 Detailní pohled na uložení zadní nápravy, motoru a převodovky	39
Obr. 27 Detailní pohled uložení motorového šasi	39
Obr. 28 Barevné rozlišení dle zastoupení použitých konstrukčních nosníků	41
Obr. 29 element BEAM 188 použitý pro síťování modelu	42
Obr. 30 Vyznačení sil působících v daném místě rámu	42
Obr. 31 Výsledný model rámu, určený k výpočtové analýze	43
Obr. 32 Model rámu, určený k vertikálnímu namáhání	44

Obr. 33 Maximální posuvy od vertikálního, statického zatížení	45
Obr. 34 Průběh Von Misesova napětí od statického zatížení	45
Obr. 35 Detail maximálního Von Misesova napětí od statického zatížení	46
Obr. 36 Stanovení odlehčeného kola pro výpočet	47
Obr. 37 Stanovení odlehčeného kola pro krut	48
Obr. 38 Zatížený model rámu, určený k statickému výpočtu krutu	48
Obr. 39 Průběh Von Misesova napětí namáhaného rámu na krut	49
Obr. 40 Průběh maximálních posunů od krutového namáhání	49
Obr. 41 Průběh maximálních posunů od kvazistatického vertikálního zatížení	50
Obr. 42 Průběh Von Misesova napětí od kvazistatického vertikálního zatížení	51
Obr. 43 Detail max. Von Misesova napětí od kvazistatického vertikálního zatížení	51
Obr. 44 Průběh maximálních posunů od kvazistatického zatížení na krut	52
Obr. 45 Průběh Von Misesova napětí od kvazistaticky zatíženého rámu na krut	53
Obr. 46 Detailní pohled na maximální Von Misesovo napětí	53
Obr. 47 Výsledný model rámu, určený k výpočtové analýze	54
Obr. 48 Zkouška průhybu karoserie	55
Obr. 49 Návrh optimalizace maximálních posunů od vertikálního zatížení	56

<i>Tabulka č. 1: Technické informace MTX Škoda Buggy</i>	13
<i>Tabulka č. 2: Technické informace Škoda Kirby</i>	15
<i>Tabulka č. 3: Technické informace Škoda buggy 736</i>	17
<i>Tabulka č. 4: Technické informace Buggy Studio 33</i>	19
<i>Tabulka č. 5: Základní technické informace vozu Škoda 120 od roku výroby 1983</i>	28
<i>Tabulka č. 6: Technické údaje vozu Škoda Buggy vlastní výroby</i>	36
<i>Tabulka č. 7: Hmotnosti jednotlivých částí vozu Škoda Buggy</i>	40
<i>Tabulka č. 8: Přehled použitých profilů a jejich průřezových charakteristik</i>	41
<i>Tabulka č. 9: Přehled vertikálních zatížení jednotlivých kol</i>	47

Seznam příloh

Obrázkové přílohy

3D model vyrendrovaného rámu

3D model výpočtového rámu

Škoda buggy vlastní výroby

Výkresové přílohy

2013 – 06 – 12 - 03 TRUBKA 3

2013 – 06 – 12 – 07 PODLAHA - SVAŘENEC

Multimediální přílohy

CD obsahující bakalářskou práci včetně příloh

Literatura

- [1] O firmě Metalex, MTX.cz [online]. 2013 [2013-03-17]. Dostupné z WWW: <<http://www.mtx.cz/o-firme-mtx/>>.
- [2] Katalog – Buggy MTX, Auta5p.eu [online]. 2013 [cit. 2013-03-18]. Dostupné z WWW: <<http://auta5p.eu>>.
- [3] Škoda Buggy, Forum Škoda Home [online]. 2013 [cit 2013-03-17]. Dostupné z WWW: <<http://forum.skodahome.cz>>.
- [4] Škoda Kirby, Fanklub Škoda [online]. 2013 [cit 2013-03-18]. Dostupné z WWW: <<http://www.fanklubskoda.cz/cz/zajimavosti/rarity-a-prototypy-skoda/>>.
- [5] Včera, dnes a zítra, Tipcars [online]. 2013 [cit. 2013-03-17]. Dostupné z WWW: <<http://www.tipcars.com/magazin-skoda-auto-vcera-dnes-a-zitra-dil-xv-1174.html>>.
- [6] Photos, Flickr.com [online]. 2010 [cit 2013-03-18]. Dostupné z WWW: <<http://www.flickr.com/photos/36640154@N04/5562101983/>>.
- [7] Auto Aťas, Super Buggy.cz [online]. 2013 [cit. 2013-03-17]. Dostupné z WWW: <<http://www.superbuggy.cz/buggy/czech.htm>>.
- [8] Buggy, Autodílna Procházka Blansko, [online]. 2013 [cit. 2013-03-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.autodilnaprochazka.bk.cz/default.htm>>.
- [9] Články o autech, Autoweb.cz [online]. 2011 [cit. 2013-06-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.autoweb.cz/legendy-minulosti-volkswagen-type-1-brouk/#>>.
- [10] Dune buggy, Dunebuggyarchives.com [online]. 2006 [cit. 2013-06-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.dunebuggyarchives.com/registry/dolphin-industries>> .
- [11] Rebel klub Škoda, Rebelove.webzdarma.cz [online]. 2006 [cit. 2013-06-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.rebelove.webzdarma.cz/historie/prurez.JPG>>.

- [12] Tatra klub, Tatra-club.com [online]. 2013 [cit. 2013-06-20]. Dostupné z WWW:
< http://www.tatra-club.com/graphics/gallery/full/817_t613-prospekt-128.jpg>.
- [13] Vlk F. Podvozky motorových vozidel. Nakladatelství a vydavatelství Vlk Brno 2006.
ISBN 80-239-6464-X
- [14] Nápravy, Autolexicon.net [online]. 2013 [cit. 2013-06-20]. Dostupné z WWW:
<<http://cs.autolexicon.net/articles/lichobeznikova-naprava/>>.
- [15] Škoda fórum, Skoda-virt.cz [online]. 2013 [cit. 2013-06-20]. Dostupné z WWW:
< <http://skoda-virt.cz/cz/auta/uzovky/2261-radekp-uzofka/>>.
- [16] Odpružení, Vapol.cz [online]. 2012 [cit. 2013-06-20]. Dostupné z WWW:
<<http://www.vapol.cz/fotocache/bigorig/0V011072.jpg>>.
- [17] Tlumení, Jbautodily.cz [online]. 2013 [cit. 2013-06-20]. Dostupné z WWW:
<<http://www.jbautodily.cz/zadni-naprava-11/svetla-pro-denni-sviceni-24-led>>.
- [18] Hřebenové řízení, Automobily-nahradnidily.cz [online]. 2013 [cit. 2013-06-20].
Dostupné z WWW: <<http://www.automobily-nahradnidily.cz>>.
- [19] Technická příručka, Bolzano.cz [online]. 2013 [cit. 2013-06-20]. Dostupné z WWW:
< <http://www.bolzano.cz/cz/technicka-prirucka>>.
- [20] Katalog - Feron, Feron.cz. [online]. 2013 [cit. 2013-06-20]. Dostupné z WWW:
<<http://www.ferona.cz/cze/katalog/search.php>>.
- [21] Ansys tutorial, Scharcnet.ca [online]. 2013 [cit. 2013-06-20]. Dostupné z WWW:
< http://www.scharcnet.ca/Software/Fluent13/help/ans_elem/Hlp_E_BEAM188.html>.
- [22] Strojnické tabulky Leinveber J., Řasa J., Vávra P.. Vydala Scientia spol. s r.o. 2000.
ISBN 80-7361-011-6

- [23] APETAUR, Milan; HANKE, Miroslav; KEJVAL, Jiří; ROST, Milan. Konstrukce karoserií a rámu. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 1985. 150s.
- [24] BANĚČEK, Jan. Konstrukce Karosérií a rámu *přednášky v elektronické podobě. Praha: České vysoké učení technické, 2002